

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA



“Desarrollo de un prototipo digital de un Dendrómetro, para el monitoreo del crecimiento radial del tallo en un árbol de Teca, para la empresa MLR-Forestal”

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

AUTOR:

Br. Kenny Jossel Medina Powell

TUTOR:

Ing. Álvaro Gaitán

Marzo de 2019

Managua, Nicaragua

DEDICATORIA

Dedico este trabajo monográfico primeramente a Dios todo poderoso por proveerme sabiduría, perseverancia, fortaleza y habilidades intelectuales para lograr mis metas y culminar mi carrera.

A mis padres José Dolores Medina Jarquín y Janeth Powell Huete, por trabajar duro para lograr sacarme adelante y guiarme en la senda de la rectitud, enseñarme a ser humilde, honesto, disciplinado, perseverante y de muy buenos principios morales, por brindarme todo su amor y comprensión, por corregirme para lograr ser una buena persona y ayudar a quien me necesite, por el apoyo brindado en los momentos adversos en mi vida y por creer en mí para poder lograr mis objetivos como finalizar mis estudios universitarios.

Agradezco especialmente a mi novia Maryeris Odalys Laguna Sánchez por estar siempre apoyándome en las buenas y en las malas, por ser mi motivación y confiar en mí, respecto a la finalización de este trabajo monográfico.

De manera muy especial al tutor Álvaro Gaitán por depositar su confianza, por ser paciente, tolerante, proveer conocimientos y experiencia que fueron las herramientas del éxito de este trabajo monográfico.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le agradezco a nuestro Dios por darme la vida, sabiduría, fuerza, gracia para culminar esta carrera y por permitirme lograr un peldaño más en mi carrera profesional.

Agradezco de sobremanera a mis padres, por su apoyo y comprensión a lo largo de toda esta jornada. Gracias por todos sus consejos, enseñanzas, valores morales y espirituales que me permitieron llegar hasta aquí con suma alegría. No ha sido fácil, pero gracias a ustedes ha sido más llevadero.

Le doy gracias al tutor Ing. Álvaro Gaitán, por su asesoría y apoyo durante esta larga jornada. En especial agradezco por todo su tiempo invertido en mí y espero este trabajo refleje mi agrado.

Agradezco a la empresa MLR-Forestal, por dar un voto de confianza y permitir la ejecución de este proyecto en sus instalaciones, además de brindar los equipos necesarios para la realización del proyecto.

RESUMEN

Este trabajo monográfico tiene el propósito de brindar una alternativa de solución al problema planteado por la empresa MLR-Forestal, la cual se ubica en el municipio de Siuna en la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte. El problema radica en la técnica de recolección de datos utilizada, para el monitoreo del crecimiento radial en árboles de Teca. De las opciones evaluadas para dar solución al problema se optó por implementar un prototipo de un Dendrómetro Digital, para el monitoreo de crecimiento radial en dichos árboles.

El sistema es capaz de monitorear el crecimiento radial del árbol de Teca, en periodos de 24 horas, almacenarlos en una memoria SD-Card y su posterior visualización en una computadora, a través de un archivo en Excel. Consta de tres etapas fundamentales como lo son la etapa de medición, procesamiento de datos y almacenamiento, cada una de estas etapas con un propósito en específico en el prototipo. Para el procesamiento de datos se utilizó el microprocesador atmega328 incorporada en una placa Arduino Nano.

Se presenta el diseño de cada uno de los subsistemas que conforman el prototipo, esto incluye el desarrollo de hardware y software necesario. De igual forma se presenta el desarrollo de cálculo del sistema fotovoltaico del mismas.

El sistema es de fácil manipulación puesto que, con el simple encendido del sistema, el proceso de monitoreo comenzará automáticamente a ejecutarse. Esto es posible gracias a que todos estos procesos han sido previamente programados en la plataforma Arduino basada en microcontrolador.

Índice de Contenido

I. INTRODUCCION	1
II. JUSTIFICACION.....	3
III. OBJETIVOS	4
CAPÍTULO I: MARCO TEORICO	5
1.1 Generalidades	5
1.1.1 Dasometría	5
1.1.2 Dendrómetro.....	5
1.1.3 Importancia de los dendrómetros	6
1.2 Tipos de dendrómetros	6
1.2.1 Dendrómetro tipo abrazadera	7
1.2.2 Dendrómetro óptico.....	8
1.2.3 Dendrómetros tipo estación	9
1.3 Teca	9
1.4 Sistema de Medición	10
1.5 Sensores	11
1.5.1 Transformador Diferencial de Desplazamiento Lineal (LVDT)	11
1.5.2 Estructura interna del sensor LVDT.....	12
1.5.3 Funcionamiento del sensor LVDT.....	14
1.5.4 Principales características y ventajas del sensor LVDT	16
1.5.5 Aplicaciones en el medio forestal del sensor LVDT.....	17
1.5.6 Sensor LVDT DC 1000-EC.....	17
1.6 Acondicionamiento de señal.....	19
1.6.1 CAD698.....	20
1.7 Microcontrolador	21
1.8 Plataforma Arduino	22
1.9 Fuente de alimentación	24
1.9.1 Energía Solar Fotovoltaica	24
1.9.2 Paneles Fotovoltaicos.....	25
1.9.3 Controlador e carga Solar.....	26
1.10 Protocolos de comunicación serial	26
1.11 DataLogger	27
1.12 RTC.....	28
1.13 Tarjeta de memoria.....	29
1.14 Galga extensométrica.....	31
1.15 LT1054	31

1.16	ADS1115	32
CAPITULO II: ANALISIS Y PRRSENTACION DE RESULTADOS		33
2.1	Etapas de Análisis	33
2.1.1	Situación actual respecto al monitoreo radial en arboles de teca en la empresa MLR-Forestal	34
2.1.2	Surgimiento y Alcance del proyecto.....	35
2.1.3	Requerimientos del sistema.....	36
2.2	Etapas de Diseño del Sistema	37
2.2.1	Esquema general del sistema	38
2.2.2	Selección del sensor a utilizar	39
2.2.3	Características técnicas del sensor seleccionado.....	41
2.2.4	Calibración del sensor LVDT DC 1000-EC, mediante pruebas de laboratorio.....	42
2.2.5	Diseño de fuente de alimentación para el sensor LVDT DC-1000EC.....	47
2.2.6	Elaboración de PCB de fuente de alimentación para sensor	48
2.2.7	Determinación del Conversor analógico Digital.....	49
2.2.8	Divisor de voltaje para reducción de lectura de salida del sensor LVDT.....	51
2.2.9	Elaboración de PCB para ADS 1115 y divisor de voltaje.....	53
2.2.10	Selección de componentes para el del Data Logger	54
2.2.11	Determinación del Microcontrolador	55
2.2.12	Modulo Arduino Nano.....	56
2.2.13	Sistema fotovoltaico.....	56
2.2.14	Censo de carga	57
2.2.15	Selección del panel fotovoltaico	59
2.2.16	Controlador de carga.....	60
2.2.17	Selección de Case, para el prototipo.....	62
2.2.18	Diseño en circuito impreso final del sistema	62
2.3	Implementación del sistema Dendrómetro Digital.....	63
2.4	Evaluación Funcional del sistema.....	65
2.5	Resultados obtenidos.....	66
CAPITULO III: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		67
3.1	Conclusiones.....	67
3.2	Recomendaciones	69
BIBLIOGRAFIA		70

Lista de Figuras

Figura 1 Dendrómetro comercial de tipo cinta abrazadera, instalado en uno de los árboles de la empresa MLR-Forestal. Fuente: Autor.....	7
Figura 2 Dendrómetro óptico RD 1000.....	8
Figura 3 Dendrómetro tipo estación. Fuente: (Galindo et.al.,2015)	9
Figura 4 Plantaciones de Teca en la empresa MR-Forestal. Fuente: Autor	10
Figura 5 Estructura general de un sistema de medición. Fuente: (Bentley, 2005).....	10
Figura 6 Transformador de Desplazamiento Lineal (LVDT). Fuente: (Arévalo, 2016)..	12
Figura 7 Posiciones del núcleo ferromagnético. Fuente: (Arévalo, 2016).....	12
Figura 8 Flujo magnético en las bobinas. Fuente: (Arévalo, 2016).....	13
Figura 9 Estructura Interna del Sensor LVDT. Fuente: (Arévalo, 2016).....	14
Figura 10 Grafica de voltaje en dependencia del posicionamiento del núcleo magnético. Fuente: (Arévalo, 2016)	14
Figura 11 Señales adquiridas de acuerdo al movimiento del núcleo. Fuente: (Arévalo, 2016).....	15
Figura 12 Sensor LVDT instalado en un árbol, para realizar las respectivas medidas. Fuente: (Guillen, 2015)	17
Figura 13 LVDT DC 1000-EC. Fuente: (Chaevits sensors, 2006).....	18
Figura 14 Diagrama de conexión del sensor LVDT DC1000-EC. Fuente: (Chaevits sensors, 2006)	18
Figura 15 En esta imagen, se muestra el diagrama funcional de un AD698 y su respectiva presentación en el mercado.	21
Figura 16 En esta imagen se muestra el aspecto físico del módulo del Arduino Nano.	22
Figura 17 Arduino IDE	23
Figura 18 Diagrama de un sistema fotovoltaico. (Gilbert, 2004).....	24
Figura 19 Panel solar. (Gilbert, 2004)	25
Figura 20 Modulo RTC DS-1307.....	28
Figura 21 Modulo SD-Card	30
Figura 22 Diagrama de bloques del sistema. Fuente: Autor	38
Figura 23 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 2 Cm, con un voltaje de salida máximo de 6.0375 Volts. Fuente: Autor	43
Figura 24 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 4.7 Cm, con un voltaje de salida máximo de 9.7 Volts. Fuente: Autor	44
Figura 25 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 4 Cm, con un voltaje de salida máximo de 10.4723 Volts. Fuente: Autor	45
Figura 26 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 4 Cm, con un voltaje de salida máximo de 10.4723 Volts. Fuente: Autor	46
Figura 27 La imagen, muestra el aspecto de una réplica de un sensor LVDT, alimentado con corriente alterna. Fuente: Autor	47
Figura 28 La imagen, muestra la simulación de la fuente de alimentación con salida negativa utilizando el integrado LT1054. Fuente: Autor.....	48
Figura 29 PCB fuente de alimentación -12v. Fuente: Autor	48
Figura 30 ADS115.....	50
Figura 31 Análisis de circuito electrónico, para encontrar valores del divisor de voltaje. Fuente: Autor.....	51
Figura 32 Análisis de circuito eléctrico, para encontrar en factor multiplicador. Fuente: Autor	52
Figura 33 Elaboración de pistas y PCB para ADC y divisor de voltaje. Fuente: Autor	53/

Figura 34 Simulación Data Logger. Fuente: Autor	55
Figura 35 Batería Kobe 12N9-4B-1 utilizada en el sistema fotovoltaico. Fuente: Autor.....	59
Figura 36 controlador de carga Lumiax LATshine06.....	61
Figura 37 Case donde se incorporará todo el sistema del dendrómetro digital	62
Figura 38 Prototipo Final. Fuente: Autor.....	62
Figura 39 inicio de instalación del prototipo, el cual se ubicó al lado de un árbol, para su respectivo monitoreo. Fuente: Autor.....	63
Figura 40 En la siguiente imagen se puede observar el apoyo brindado por parte de personal del área de infraestructura de la empresa, para la instalación. Fuente: Autor.....	64
Figura 41 En la siguiente imagen se aprecia el prototipo ya instalado, y listo para ejercer su función. Fuente: Auto.	64

Lista de tablas

Tabla 1 Especificaciones del sensor LVDT DC 1000-EC. Fuente: (chaevits sensors, 2006).....	19
Tabla 2 Evaluación de los tres sensores considerados para el sistema referente a los parámetros de selección. Fuente: Autor.....	40
Tabla 3 Especificaciones del sensor seleccionado. Fuente: (chaevits sensors, 2006)	41
Tabla 4 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de 2 cm, dando como resultado un rango de medición de 5 Cm. Fuente: Autor.....	42
Tabla 5 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de=4.7 Cm, dando como resultado un rango de medición de 3 Cm. Fuente: Autor.	43
Tabla 6 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de 4 Cm, dando como resultado un rango de medición de 4 Cm. Fuente: Autor.....	44
Tabla 7 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de 4 Cm, dando como resultado un rango de medición de 4 Cm. Fuente: Autor.....	45
Tabla 8 Comparación entre 3 ADC de la miasma familia. Fuente: Autor.....	49
Tabla 9 Comparación entre componentes que integran el Data Logger, RTC y SD-Card. Fuente: Autor.....	54
Tabla 10 Recursos demandados por el microcontrolador a utilizar. Fuente: Autor.....	55
Tabla 11 Asignación de pines del módulo Arduino Nano. Fuente: Autor.....	56
Tabla 12 Censo de carga del sistema. Fuente: Autor.	57
Tabla 13 Características de panel solar Sunshine solar. Fuente: (Sunshine solar S, F)	60
Tabla 14 Características con que debe contar el controlador de carga. Fuente: Autor.....	61

I. INTRODUCCION

MLR-Forestal, es una empresa ubicada en Siuna (RACCN), la cual se dedica la producción y comercialización de árboles de Teca. La Teca es un árbol de hoja caduca de gran tamaño y copa redondeada cuando crece en condiciones favorables, dando un fuste cilíndrico y limpio que puede alcanzar hasta 30 metros de altura, de rápido crecimiento y con una madera muy apreciada a nivel mundial para la fabricación de muebles (Aguirre, et al. 2013).

Uno de los parámetros de importancia a monitorear en estas plantaciones para su correcto desarrollo, es el crecimiento radial del tallo, lo cual en la empresa MLR-Forestal se realiza a través de unos dispositivos llamados dendrómetros. Un dendrómetro es un instrumento que mide las variaciones de perímetro o radio de troncos o frutos (Aguirre, et al. 2013); con los que se cuentan actualmente en la empresa son un poco ineficientes, por el hecho de ser totalmente artesanales.

En este trabajo monográfico, se pretende la realización de un prototipo de un Dendrómetro Digital, el cual se encargará de recopilar las mediciones del crecimiento diario del radio del tallo del árbol y almacenarlos en una memoria, de tal manera que los datos de crecimiento diario no se pierdan y puedan ser portables a la hora de necesitarlos.

El sistema consta de tres partes esenciales: El sistema de medición que se desarrolló a partir de un sensor LVDT, que pretende tomar las variaciones del estrés del árbol y convertirlas a una variable física que pueda ser interpretada por el controlador; el Data Logger se realizó a partir de un módulo RTC y un módulo SD-Card que básicamente se encargará de almacenar el Dato brindado por el sensor en un módulo de memoria con su respectiva hora, fecha y día de la medición; la fuente de alimentación independiente que será la encargada de proporcionar la carga necesaria para el correcto funcionamiento del sistema, a través de un módulo fotovoltaico.

Además del desarrollo del sistema, se desarrolló una fase experimental, donde se evaluó el correcto funcionamiento del sistema. Se realizaron las experimentaciones en un laboratorio de la universidad nacional de ingeniería UNI y luego se evaluó el desempeño del sistema, mediante pruebas de campo en la empresa MLR-Forestal.

II. JUSTIFICACION

MLR-Forestal es una empresa que, desde hace 12 años, se ha dedicado a la producción y comercialización de un tipo de especie agrícola llamada Teca, la cual tiene un gran valor comercial en el mercado nacional e internacional. En dichas plantaciones, Se debe de llevar un monitoreo constante de variables de importancia, entre ellas el crecimiento radial del tronco, lo cual en la empresa se realiza de manera tradicional, a través de unos dendrómetros artesanales.

Las plantaciones se encuentran a una distancia entre 10 y 15 km respecto a las instalaciones de las oficinas de la empresa y no hay accesibilidad vehicular, el medio de acceso hacia las plantaciones es únicamente caminando, lo cual dificulta el proceso de recopilación de los datos en las plantaciones. Actualmente el proceso de monitoreo en los arboles se realiza con unos dispositivos llamados dendrómetros, sin embargo, son totalmente artesanales por lo cual una persona debe de asistir al sitio para tomar las lecturas diarias de crecimiento y no resulta cómodo para las personas encargadas de esta área de trabajo.

Por tal razón la empresa MLR-Forestal ha solicitado desarrollar una propuesta (Prototipo) de un dendrómetro digital que contribuya al proceso de modernización y tecnificación agrícola.

En este trabajo monográfico se proyecta el desarrollo de un sistema de medición autónomo (Dendrómetro digital), que permita captar las micro variaciones que presenta diariamente el árbol y almacenarlos en una memoria. El sistema a desarrollar beneficiará a la empresa MLR-Forestal, ya que los dendrómetros con los que se disponen actualmente no permiten el almacenamiento de los datos proporcionados día a día.

Con el desarrollo de este sistema, se contribuirá a la tecnificación agrícola y mejoras del sistema de medición actual de la empresa, ya que anteriormente se propuso la compra de unos dendrómetros digitales que se ofertan en el mercado, sin embargo, no se logró la compra debido a que dichos dispositivos tienen un precio elevado.

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo digital de un dendrómetro, para el monitoreo del crecimiento radial del tallo en un árbol de Teca, para la empresa MLR-Forestal.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Diseñar el sistema de medición, para el monitoreo constante del crecimiento radial del tallo de un árbol de Teca, comparando las mediciones de este con los dispositivos de medición actuales en la empresa MLR-Forestal.
2. Diseñar un Data Logger que permita almacenar los valores de crecimiento radial del árbol, en intervalos de 24 horas.
3. Realizar el sistema de alimentación independiente, mediante un panel fotovoltaico.
4. Evaluar el desempeño del sistema, mediante pruebas de campo en la empresa MLR-Forestal.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO

1.1 Generalidades

1.1.1 Dasometría

Según (Facundo, S.F) etimológicamente dasometría proviene de las palabras de origen griego daso, que significa bosque y metría, que significa mediciones. Es la rama de la ciencia forestal que estudia la medición de los árboles y sus productos o bien la ciencia que estudia la determinación del volumen de los árboles y de las masas forestales; averigua la edad e investiga y estudia su crecimiento. Los objetivos de la Dasometría son de carácter comerciales, de ordenación forestal y de investigación.

Como lo menciona (La divisa del nuevo milenio, 2014), “La dasometría es la parte de la dasonomía (estudio de la conservación, cultivo y aprovechamiento de los montes/bosques) que se ocupa de cuantificar el crecimiento y la producción forestal. El volumen de madera se determina mediante inventarios. Comparando los datos de inventarios sucesivos, se puede determinar la tasa de crecimiento de la madera en el bosque.”

Para poder calcular el volumen de la madera y masas forestales, se debe medir la altura y diámetro de los árboles y a través de estas, se puede determinar el área basal y el volumen. La edad de los árboles y su crecimiento son otros factores que se determinan a través de mediciones. Las mediciones se pueden efectuar en árboles talados o en árboles en pie. (Facundo, S.F).

1.1.2 Dendrómetro

El dendrómetro es un instrumento que mide las variaciones de diámetro del tronco o de cualquier otra parte de la planta, mostrando la forma en que esta utiliza el agua y las tendencias de comportamientos en periodos largos. De esta forma el dendrómetro se utiliza para monitorizar el crecimiento a escala temporal, para comprender mejor las interacciones entre los mecanismos

fisiológicos y ambientales y entender a qué factores ambientales responden las plantas, plantea (Galtel, 2011).

Dicho de otra manera (Aguirre, Gonzales & Rodríguez, 2013), plantean que un dendrómetro es un instrumento que mide las variaciones del perímetro o radio de troncos o frutos. En el sector agroforestal, se necesitan dispositivos que permitan el monitoreo constante del árbol en rangos determinados, Generalmente 24 horas, con el objetivo de analizar detalladamente parámetros de importancia, como cantidad de fertilizante aplicados a la planta, cantidad de agua absorbida por la planta, Tiempo estimado de crecimiento entre otros.

1.1.3 Importancia de los dendrómetros

(Aguirre et al.,2013), plantean que el análisis de los cambios en el radio del tronco de un árbol, permite no solo entender el proceso de crecimiento del árbol a largo plazo, sino también el modo en que estas expansiones y contracciones están relacionadas con factores agrometeorológicos¹. Es por esto que la información obtenida por un dendrómetro es muy útil en el contexto de la agricultura de precisión (como por ejemplo en la implementación de sistemas de riego óptimo controlado por el estrés hídrico de los cultivos.)

1.2 Tipos de dendrómetros

En la actualidad, gran parte del sector agroforestal no se cuenta con dendrómetros modernizados, esto se debe a las dificultades económicas para conseguir uno. Muchas de las empresas que se dedican a cultivar especies de árboles o frutos comunes, no les interesa invertir en dendrómetros sofisticados, sin embargo, hay empresas en las cuales es de suma importancia la obtención y precisión de datos a través de estos dispositivos, por tanto, optan por los

¹ temperatura ambiente, humedad del suelo, balance entre agua evaporada en las hojas y la absorbida en las raíces, etc.

dispositivo digital; tal es el caso de la empresa MLR-Forestal², donde se cultiva un tipo de árbol llamado Teca³ y es de suma importancia, la precisión de datos recepcionados para la elaboración de proyecciones a largo plazo.

1.2.1 Dendrómetro tipo abrazadera

Los dendrómetros de tipo abrazadera son los más comunes y económicos que se pueden encontrar en el mercado, estos generalmente cuentan con una bisagra que se coloca en el árbol, seguido de una cinta que rodea a todo el perímetro del árbol. El mecanismo está estructurado de tal manera que cuando el árbol se va ensanchando, la cinta va deslizando una pequeña regla milimétrica donde se va registrando el crecimiento. La regla milimétrica por lo general tiene un rango de 5 milímetros de medición.

Este tipo de dispositivos tienen ciertas desventajas, debido a que los datos que se visualizan se pierden con el transcurso del tiempo además de no poder percibir ni visualizar los pequeños crecimientos. El Árbol en dependencia de la cantidad de agua y sales que absorbe, crecerá diariamente y con este dispositivo es imposible visualizarlo. Generalmente se utilizan para monitorear en periodos largos de tiempo (1 semana o más), por lo limitado que es para percibir el crecimiento radial de los árboles o frutos, en periodos cortos (24 horas).



Figura 1 Dendrómetro comercial de tipo cinta abrazadera, instalado en uno de los árboles de la empresa MLR-Forestal. Fuente: Autor

²iniciales de dueños de la empresa forestal.

³Se amplía la información en la sección 1.3 del marco teórico.

1.2.2 Dendrómetro óptico

En los últimos tiempos, las nuevas tecnologías han puesto en el mercado aparatos de mediciones forestales que simplifican y facilitan en gran manera la forma de trabajo, algunos de los cuales han contribuido en la recopilación de datos de campo en los inventarios forestales. Para esto hay empresas que se dedican a la fábrica de aparatos de mediciones forestales de gran calidad.

Los dendrómetros ópticos son costosos en el mercado, y muy difíciles de encontrar, por lo cual los interesados en utilizar estas tecnologías actualizadas deben de hacer pedidos fuera del país para poder prescindir de sus servicios.

Una de las ventajas de estos dispositivos es que son de fácil manipulación, además de contar con múltiples funciones como, medición de altura, distancia, inclinación entre puntos, etc. Los dendrómetros ópticos son de mucha precisión, sin embargo, necesitan el factor humano para poder hacer la medición; el alto precio para la obtención de un dispositivo de estos se debe a la multifuncionalidad de estos equipos.

En la siguiente imagen (Figura 2) podemos ver un Dendrómetro óptico de una empresa dedicada a la comercialización en estos equipos.



Figura 2 Dendrómetro óptico RD 1000.

1.2.3 Dendrómetros tipo estación

Este tipo de dendrómetros, son sistemas que se ubican a la par de un árbol de tal manera que se pueda monitorear diariamente el crecimiento radial de este. Generalmente son basados en un transductor electromagnético LVDT, el cual es el encargado de captar las micro variaciones del crecimiento diariamente. Cuentan con un almacenamiento de memoria donde se guardan los datos. Estas estaciones generalmente son programables, es de aquí que son muy útiles para investigaciones y estudios a las plantas dentro de las empresas dedicadas a esto.



Figura 3 Dendròmetro tipo estación. Fuente: (Galindo et.al.,2015)

1.3 Teca

según (sephu, 2009a) la Teca es un árbol de hoja caduca de gran tamaño y copa redondeada cuando crece en condiciones favorables, dando un fuste cilíndrico y limpio que puede alcanzar hasta 30 metros de altura, de rápido crecimiento y con una madera muy apreciada a nivel mundial para la fabricación de muebles. Es originaria del Asia Tropical y fue introducida en algunos Países de la América Tropical a principios del siglo XX.

La gran demanda de esta madera y el interés medioambiental y económico de este, han hecho de la Teca uno de los recursos más interesantes para ecosistemas de los bosques húmedos en la creación de riqueza y la mejora del medio ambiente, con el desarrollo de una agricultura limpia y sostenible. (Sephu, 2009b).



Figura 4 Plantaciones de Teca en la empresa MR-Forestal. Fuente: Autor

1.4 Sistema de Medición

(Bentley, 2005) explica que un sistema de medición está compuesto de varios elementos o bloques. Sin embargo, existen cuatro elementos básicos que se pueden identificar, aunque de acuerdo a otros autores estos bloques se pueden subdividir dando origen a más elementos o también pueden fusionarse reduciendo la cantidad de bloques del sistema. Los cuatro tipos de elementos se pueden definir de la siguiente manera:

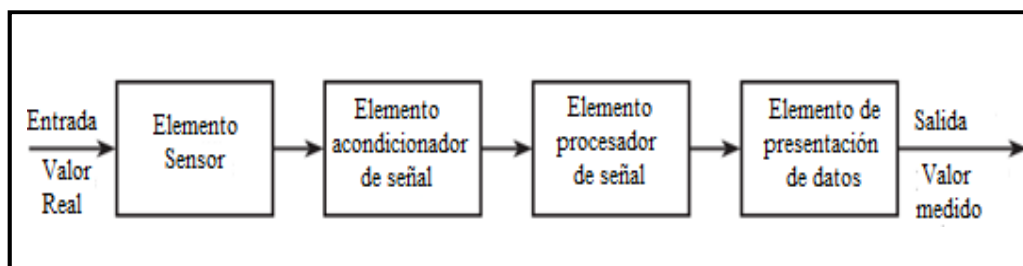


Figura 5 Estructura general de un sistema de medición. Fuente: (Bentley, 2005)

- Sensor: Este elemento se encuentra directamente en contacto con el proceso y proporciona una salida que depende de la variable a ser medida.
- Acondicionador de señal: Toma la salida del elemento sensor y la convierte en una forma más adecuada para su posterior procesamiento, las cuales usualmente son señales de voltaje, corriente o frecuencia.
- Procesador de señal: Toma la salida del bloque acondicionador y la convierte en una forma más adecuada para su presentación.
- Presentación de datos: Este presenta el valor de los datos en una forma que estos puedan ser reconocidos por el usuario.

1.5 Sensores

Son dispositivos que están diseñados para recibir información de una magnitud exterior y transformarla en otra magnitud normalmente eléctrica, la misma que se pueda cuantificar y manipular. Además, permiten medir y detectar acciones o estímulos externos generando una respuesta inmediata, una vez que el objeto que se requiere detectar o medir cae dentro del rango de operación en el que trabaja. (Fernández, 2005).

1.5.1 Transformador Diferencial de Desplazamiento Lineal (LVDT)

LVDT⁴, es un tipo de transformador eléctrico utilizado para medir desplazamientos lineales. Posee tres bobinas solenoidales ubicadas extremo con extremo alrededor de un tubo, la bobina central es el devanado primario y las externas son los devanados secundarios, las cuales están en contrafase con el primario como se muestra en la figura 6 (Arévalo, 2016).

⁴Transformador Diferencial de Variación lineal

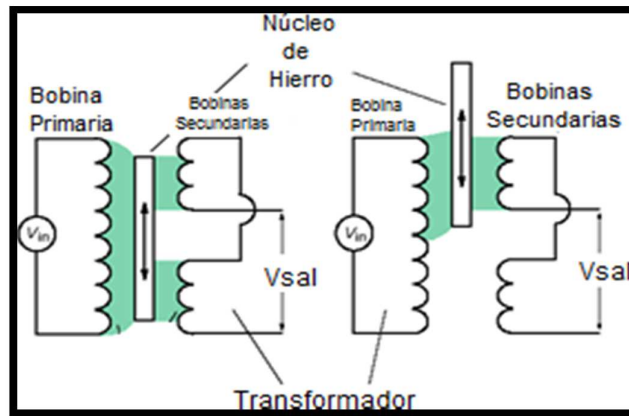


Figura 6 Transformador de Desplazamiento Lineal (LVDT). Fuente: (Arévalo, 2016)

1.5.2 Estructura interna del sensor LVDT

Las bobinas secundarias están conectadas en serie, pero con su fase invertida, con lo cual las corrientes inducidas en la bobina se oponen entre sí, dando lugar a que el voltaje de salida sea la diferencia entre los dos voltajes secundarios figura 7.

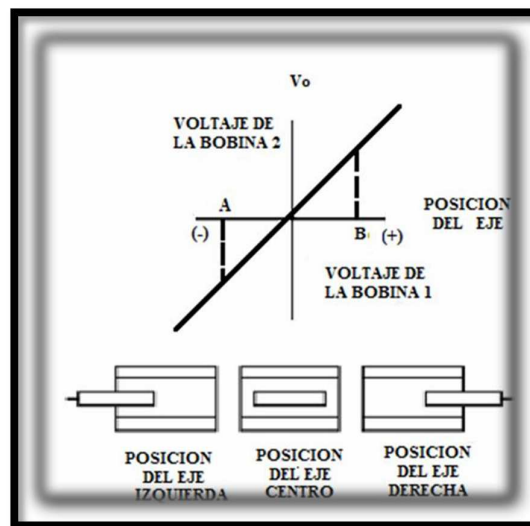
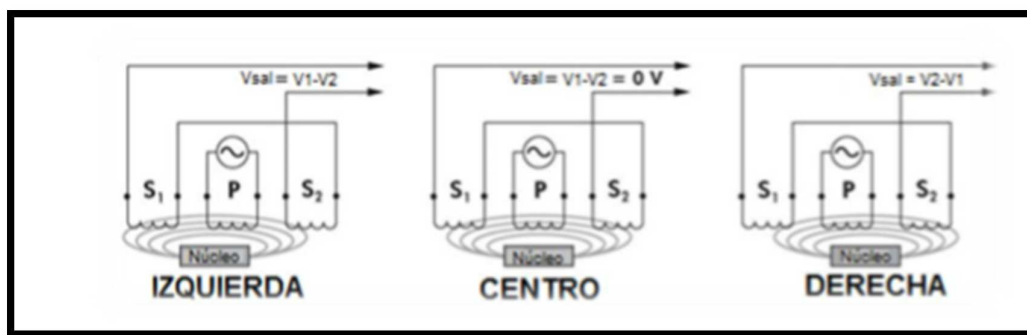


Figura 7 Posiciones del núcleo ferromagnético. Fuente: (Arévalo, 2016)

Cuando el eje se desplaza hacia la izquierda, habrá más líneas de flujo magnético en la bobina izquierda que en la bobina derecha, y por lo tanto la FEM⁵ en la bobina izquierda será mayor (Arévalo, 2016).

Dichas magnitudes serán iguales y de fase opuesta, mientras que la diferencia entre las dos FEM inducidas, sean las mismas y de fase opuesta como se indica en la figura 8. Las salidas de los bobinados secundarios se suman, simplemente conectando los bobinados secundarios a un punto común de centro (Arévalo, 2016).



⁵fuerza electromotriz

1.5.3 Funcionamiento del sensor LVDT

Como se puede observar en la figura 9, a la bobina primaria A, se le inyecta una corriente alterna, y a las dos bobinas que forman el secundario B del transformador se las conecta en serie, pero invertidas una con respecto a la otra (Arévalo, 2016).

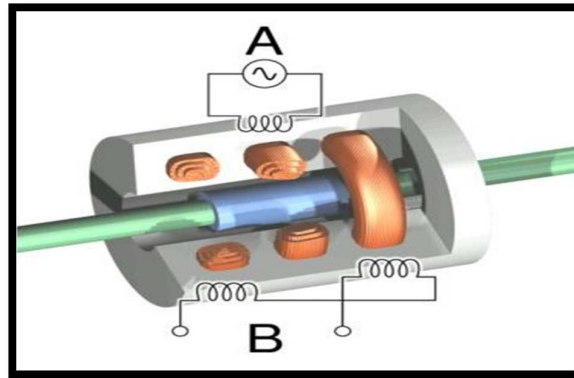


Figura 9 Estructura Interna del Sensor LVDT. Fuente: (Arévalo, 2016)

En el bobinado secundario B, que tiene sus salidas invertidas, cada una de las señales en estas bobinas tienen un desfase de 180 una con respecto a la otra, de esta manera se obtiene la diferencia de voltaje entre estas. Esa diferencia de voltajes es variable, debido al núcleo de material ferro magnético que se desplaza longitudinalmente entre las bobinas, como se muestra en la figura 10 (Arévalo, 2016).

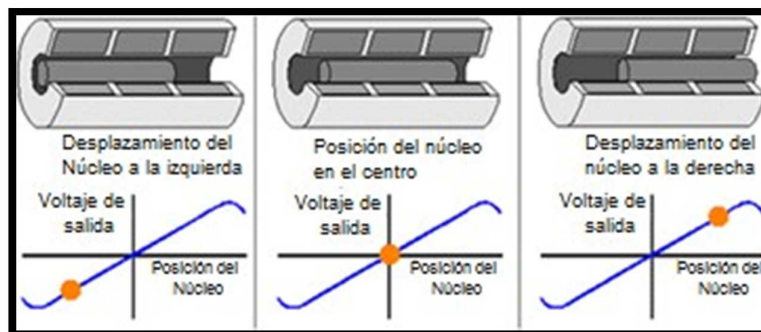


Figura 10 Grafica de voltaje en dependencia del posicionamiento del núcleo magnético. Fuente: (Arévalo, 2016)

Cuando este núcleo llega a cualquier extremo (derecho o izquierdo), este será el núcleo completo de la bobina central y de la bobina al extremo que le corresponde (Arévalo, 2016).

Cuando el núcleo está completamente en la mitad, este será el núcleo total de la bobina del medio, y medio núcleo de cada una de las bobinas laterales. Es decir que el núcleo, será el elemento que determina la inducción que hay del devanado primario a cada una de las bobinas secundarias como se indica en la figura 11 (Arévalo, 2016).

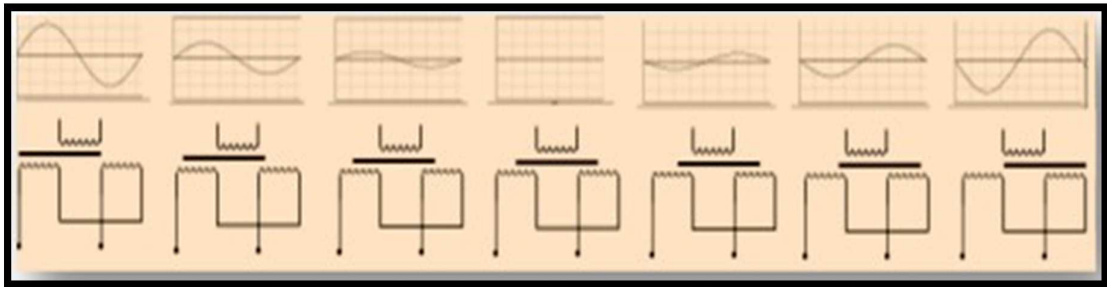


Figura 11 Señales adquiridas de acuerdo al movimiento del núcleo. Fuente: (Arévalo, 2016)

La fase del voltaje indica la dirección del desplazamiento. Como en cualquier transformador, el voltaje de la señal inducida en el bobinado secundario es una relación lineal del número de espiras. La relación básica del transformador se muestra en la Ec.1 (Yanez, 2010).

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{N_{out}}{N_{in}} (1)$$

Donde:

V_{out} : Tensión de Salida

V_{in} : Tensión de entrada

N_{out} : Número de espiras del bobinado secundario

N_{in} : Número de espiras del bobinado primario

Como el núcleo se desplaza, el número de espiras expuestas en el bobinado secundario cambia en forma lineal. Por lo tanto, la amplitud de la señal inducida cambiará también linealmente con el desplazamiento. (Joken, 2011).

Debido a que el núcleo deslizante no toca el interior del tubo, puede moverse prácticamente sin fricción, haciendo del LVDT un dispositivo muy fiable. La ausencia de contactos deslizantes o rotatorios permite que el LVDT sea completamente sellado. (Joken, 2011).

El LVDT provee una relación lineal entre el desplazamiento y el voltaje, mientras el núcleo se exponga a todas las espiras del bobinado primario (Joken, 2011).

1.5.4 Principales características y ventajas del sensor LVDT

El LVDT aprovecha el principio de funcionamiento de un transformador, donde el voltaje de salida depende del núcleo ferromagnético móvil en su interior, la respuesta del sensor LVDT depende en gran medida del material del núcleo móvil. Puede medir distancias con gran precisión, dependiendo el número de vueltas en sus bobinas y el circuito acondicionador de la señal de respuesta, sin necesidad de fricción, lo que ofrece una gran ventaja frente a otros sensores de distancia. Una gran ventaja de los LVDT es que son robustos y resistentes a la suciedad si los comparamos con codificadores ópticos lineales. Es importante que el eje ferromagnético permanezca siempre dentro del bobinado, pues esto evitara que el bobinado se queme (Arévalo, 2016).

Dentro de las características y ventajas respecto a este tipo de sensores tenemos:

- Extremadamente preciso
- Alta resolución
- Vida útil larga
- Resistencia a los ambientes difíciles (Humedad, polvo, etc.)
- Robusto
- Fácil instalación

1.5.5 Aplicaciones en el medio forestal del sensor LVDT

Aplicado en el tronco de un árbol tal como se aprecia en la figura 12, se sitúa en el exterior, alineado con el centro del tronco, por lo que los crecimientos moverán el núcleo ferromagnético y se obtendrán las medidas buscadas. La fiabilidad de este elemento de medida es muy alta, al no existir elementos de fricción ni contactos deslizantes en el interior. Para no corromper esta fiabilidad, se venden sellados, luego no puede verse el mecanismo de funcionamiento desde el exterior. Este tipo de sensores debe ser calibrado cuando se alcanzan ciertos límites y la salida de datos tiene también la misma estructura de tres dígitos en hexadecimal, debiéndose aplicar igualmente una fórmula para obtener el valor buscado.



Figura 12 Sensor LVDT instalado en un árbol, para realizar las respectivas medidas. Fuente: (Guillen, 2015)

1.5.6 Sensor LVDT DC 1000-EC

El sensor LVDT DC 1000-EC es un dispositivo con amplio margen de medición, además de ser robusto y adecuado para instalaciones a la intemperie. Uno de los aspectos más relevantes de este dispositivo es que se alimenta con corriente directa, además de consumir poca corriente. Es un sensor lineal que proporciona una salida de voltaje en dependencia del desplazamiento de su núcleo magnético. (Chaevits sensors, 2006a)

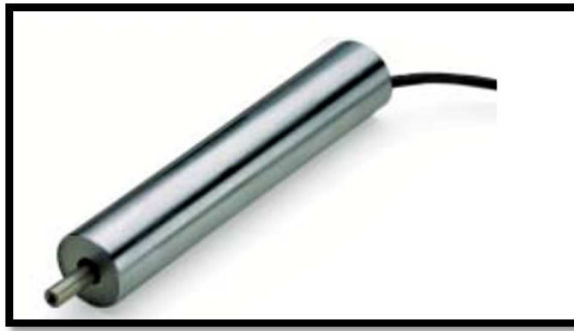


Figura 13 LVDT DC 1000-EC. Fuente: (Chaevits sensors, 2006)

Los LVDT operados por CC de la Serie DC-EC combinan un LVDT AC diseñado por computadora con una señal integral personalizada para lograr un rendimiento superior. Operando con un suministro nominal de ± 15 VCC, la serie DC-EC Ofrece una salida extremadamente lineal, de bajo ruido, pero con una respuesta de alta frecuencia de ± 10 VCC. (Chaevits sensors, 2006b)

En la siguiente figura 14 se muestra el diagrama de conexión del sensor LVDT 1000-DC

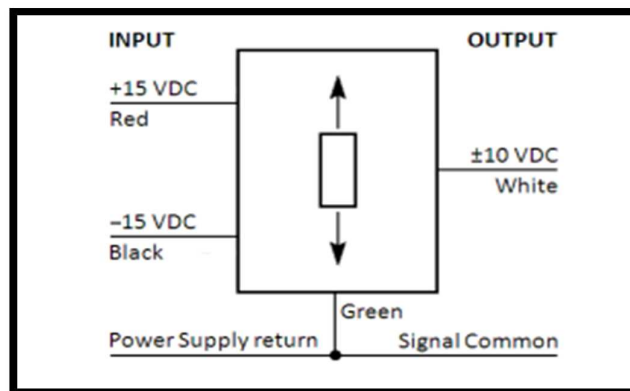


Figura 14 Diagrama de conexión del sensor LVDT DC1000-EC. Fuente: (Chaevits sensors, 2006)

Las técnicas innovadoras de diseño y fabricación mejoran aún más el rendimiento y la eficiencia de costos de DC-EC. Los componentes micro-miniatura empleados son seleccionados meticulosamente para una máxima estabilidad y resistencia térmica. La encapsulación al vacío de todos los

elementos proporciona una excelente tolerancia a los golpes y vibraciones, mientras que El doble blindaje magnético proporciona la máxima protección contra los campos dispersos. (Chaevits sensors, 2006c)

En la siguiente tabla se muestran las características técnicas con las que cuenta este dispositivo.

Tabla 1 Especificaciones del sensor LVDT DC 1000-EC. Fuente: (chaevits sensors, 2006)

ELECTRICAL SPECIFICATIONS									
Parameter	DC-EC 050	DC-EC 125	DC-EC 250	DC-EC 500	DC-EC 1000	DC-EC 2000	DC-EC 3000	DC-EC 5000	DC-EC 10000
Stroke range	±0.050 [±1.27]	±0.125 [±3.17]	±0.25 [±6.35]	±0.5 [±12.7]	±1 [±25.4]	±2 [±50.8]	±3 [±76.2]	±5 [±127]	±10 [±254]
Sensitivity, VDC/inch	200	80	40	20	10	5	3.3	2.0	1.0
Sensitivity, VDC/mm	7.9	3.15	1.6	0.79	0.39	0.20	0.13	0.079	0.039
Frequency response Hertz @-3dB	500	500	500	200	200	200	200	200	200
Input voltage	±15VDC								
Input current	±25mA								
Output at stroke ends	±10VDC (Positive and increasing when the core is displaced from null position towards the cable)								
Non-linearity	±0.25% of FR, maximum								
Output ripple	25mVRMS, maximum								
Stability	0.125% of FSO								
Output impedance	1 Ohm								

1.6 Acondicionamiento de señal

Según, (Pallas, 2012) los acondicionadores de señal “son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada o registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar”. Las principales funciones que pueden realizar estos acondicionadores son ampliación, filtrado, modulación, acoplamiento de impedancias entre otras.

Muchas aplicaciones implican medidas ambientales o estructurales mediante sensores, como es el caso de la temperatura y las vibraciones. Estos

sensores a su vez, requieren el acondicionamiento de las señales antes de que un dispositivo de adquisición de datos pueda medir con eficacia y precisión la señal. El acondicionamiento de señal es uno de los componentes más importantes de un sistema de adquisición de datos ya que, sin la optimización de las señales del mundo real para el digitalizador que se esté utilizando, no se puede confiar en la exactitud de la medida.

1.6.1 CAD698

Es un ADC⁶ diferencial de variabilidad lineal completo y monolítico, Subsistema de acondicionamiento de señal de transformador LVDT. Es utilizado en conjunción con LVDT para convertir el transductor mecánico de posición a un voltaje DC unipolar o bipolar con un alto grado de precisión y repetibilidad. Todas las funciones del circuito son incluidas en el chip, con la adición de algunos componentes pasivos externos para establecer la frecuencia y la ganancia, el AD698 convierte la salida de LVDT sin procesar a una señal DC⁷ a escala. El dispositivo funcionará con LVDT de medio puente, LVDT conectados en la serie opuesta configuración (4 hilos) y RVDTs⁸. El AD698 contiene un oscilador de onda sinusoidal de baja distorsión para conducir el LVDT primario. Los canales demoduladores del AD698 se utilizan para detectar amplitud del primario y secundario. (Analog, Devices, 1995).

Estos dispositivos necesitan una tensión de alimentación muy superior a la que se dispone, por lo que, de utilizarse esta tecnología, debe utilizarse un conversor DC-DC. Además, consumen aproximadamente 15 mA de corriente a una tensión de alimentación de 15V.

En la siguiente imagen se puede apreciar el encapsulado del circuito integrado, y su estructura interna.

⁶convertidor Analógico-Digital

⁷corriente Directa

⁸ transformador diferencial de rotación variable

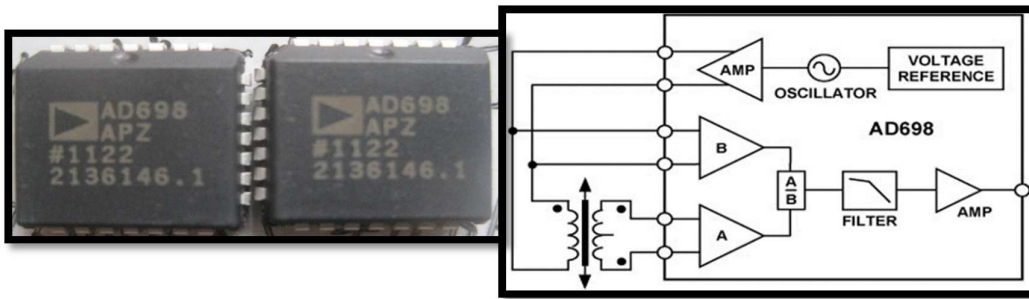


Figura 15 En esta imagen, se muestra el diagrama funcional de un AD698 y su respectiva presentación en el mercado.

1.7 Microcontrolador

En la actualidad existen muchos tipos de microcontroladores que podrían ser utilizados para la finalidad de este proyecto. Se puede afirmar que un microcontrolador es “un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de «controlador incrustado» (embedded controller). Se dice que es “la solución en un chip” porque su reducido tamaño minimiza el número de componentes y el costo.” (Lopez & Margni, 2003)

El microcontrolador, será el cerebro del proyecto, quien controlará todos y cada uno de los procesos, tales como la obtención y recepción de datos, además de interactuar directamente con los sensores y componentes electrónicos con los que esté en contacto.

Para este proyecto se podrá hacer uso de un módulo de desarrollo, como es el conocido Arduino Nano, el cual posee al ATmega328⁹ y es uno de los microcontroladores más capaces de la familia Arduino.

⁹microcontrolador creado por Atmel de la serie mega-avr

Posee 13 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 8 entradas analógicas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB mini B, un botón de “reset” y una entrada para la alimentación de la placa.

Este módulo de desarrollo integrado provee las características técnicas que harían del sistema a desarrollar una herramienta practica y muy útil. Este ejemplar posee las características de ser liviano, teniendo un peso de tan solo 25 gramos y un consumo de 93mA de corriente. Una gran virtud que tiene el proyecto Arduino es la gran documentación que existe en la Web, tanto es español como en inglés, donde podemos encontrar innumerables ejemplos listos para funcionar. Este proyecto cuenta con una comunidad que ayuda tanto a desarrollar productos nuevos como solucionar problemas técnicos.” (Aranda, 2014). Se muestra un ejemplar de la tarjeta de desarrollo Arduino Nano en la figura 16.

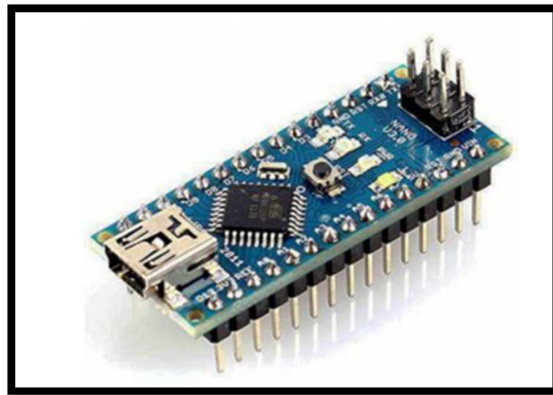


Figura 16 En esta imagen se muestra el aspecto físico del módulo del Arduino Nano.

1.8 Plataforma Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica de código abierto basada en hardware y software de uso sencillo. Las placas Arduino pueden hacer cantidades grandísimas de procesamiento y acciones, como leer entradas y convertirlo en una salida, activar un motor, encender un LED y publicar algo en línea. Puede decirle a un tablero qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en el tablero. Para hacerlo todas estas tareas es necesario utilizar el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento.



Figura 17 Arduino IDE

Con los años, Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, desde objetos cotidianos hasta complejos instrumentos científicos. Una comunidad mundial de fabricantes (estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales) se ha reunido en torno a esta plataforma de código abierto, sus contribuciones se han añadido a una increíble cantidad de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda para principiantes y expertos por igual.

Arduino nació en el “Ivrea Interaction Design Institute” como una herramienta para el prototipado rápido, dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación. Tan pronto como llegó a una comunidad más amplia, la placa Arduino comenzó a cambiar para adaptarse a las nuevas necesidades y desafíos, diferenciando su oferta de simples placas de 8 bits para productos para aplicaciones de IoT¹⁰, wearable, impresión 3D y entornos integrados.

Todos los tableros Arduino son completamente de código abierto, lo que permite a los usuarios construirlos de forma independiente y eventualmente adaptarlos a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto y está creciendo a través de las contribuciones de los usuarios en todo el mundo (Arduino, 2018).

¹⁰internet of things

1.9 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación asume un rol único dentro de un sistema electrónico. En muchos aspectos, se le considera la madre del sistema. Este sistema a implementar requiere poseer una fuente de alimentación energética independiente, ya que probablemente se ubicará en zonas remotas donde es inaccesible la red eléctrica comercial. Para cumplir con este criterio se utilizará de un recurso natural renovable, el cual es la denominada energía solar.

1.9.1 Energía Solar Fotovoltaica

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas, están compuestas principalmente de silicio, este al ser contaminado o dopado con otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar. Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio produciendo corriente eléctrica directa (Fernandez,2010).

Un sistema de alimentación utilizando energía solar fotovoltaica, requiere de otros elementos además de las celdas fotovoltaicas para que este puede funcionar correctamente, entre estos elementos se encuentran baterías y controladores de carga solar. En la figura 18 se muestra el diagrama de un sistema fotovoltaico.

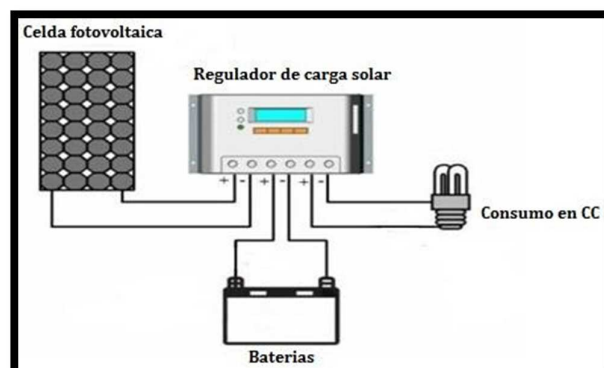


Figura 18 Diagrama de un sistema fotovoltaico. (Gilbert, 2004)

1.9.2 Paneles Fotovoltaicos

Un panel fotovoltaico (figura 19) es un conjunto de celdas solares interconectadas en serie y en paralelo, cuyo fin es transformar la energía solar captada en energía eléctrica. Los módulos son diseñados de tal forma que se utilicen como fuentes de alimentación eléctrica continua a un nivel de voltaje de 6 V DC, 12 V DC, 24 V DC, etc. De acuerdo a Díaz, T. & Carmona, G. (2014) en la elección adecuada de un panel se debe considerar la potencia a generar, la irradiación solar del lugar donde se instalará, el tipo de panel, el voltaje y la corriente generados en condiciones nominales.

Los tipos de paneles se clasifican según la tecnología de fabricación de sus células solares, entre los que se encuentran:

- Amorfos: Caracterizados por tener un color homogéneo y presentan el menor rendimiento, aproximadamente menor a 10%.
- Monocristalinos: Son los típicos paneles azules homogéneos. Estos son los más utilizados en el mercado porque son generadores de energía eléctrica todo el tiempo. Su rendimiento medio oscila entre 15% y 18%.



Figura 19 Panel solar. (Gilbert, 2004)

1.9.3 Controlador e carga Solar

Un controlador de carga solar se encarga de controlar el flujo de energía que circula entre las celdas fotovoltaicas y la batería de almacenamiento. Los controladores de carga más sencillos y económicos interrumpen la carga de las baterías cuando esta se encuentra llena y se reanuda la carga cuando la batería llega a un nivel mínimo de carga, aunque existen controladores que ofrecen otras características como medición, registro de datos y desconexión por bajo voltaje (Carpio, 2017).

1.10 Protocolos de comunicación serial

National Instruments (2012) define que la comunicación serial ocurre cuando se transfiere los datos un bit a la vez en un orden secuencial a través de un canal de comunicación. Este tipo de comunicación comúnmente es utilizado por muchos dispositivos para instrumentación, por tanto, puede emplearse en aplicaciones para adquisición de datos en conjunto con un dispositivo de muestreo remoto. La comunicación serial básicamente consiste en enviar y recibir bytes de información bit por bit. Aunque el intercambio de información es más lento que en su contraparte, la comunicación paralela, es mucho más sencillo, y menos costoso, ya que requiere menor cantidad de cables, y se puede utilizar en distancias grandes.

En algunas ocasiones el dispositivo procesador (microcontrolador) interactúa con otros dispositivos externos tales como sensores, módulos RTC, módulos de memoria, entre otros, y para lograr el intercambio de información se hace uso de protocolos basados en comunicación serial. Los más utilizados son los siguientes:

- SPI: éste es un estándar de bus serial síncrono creado por Motorola que opera en el modo full-dúplex. Los dispositivos que usan este protocolo operan en el modo maestro-esclavo, donde el dispositivo master inicia la transferencia de datos, selecciona el esclavo, y proporciona una señal de reloj para los esclavos. El esclavo

seleccionado responde y envía sus datos hacia el master a cada pulso del reloj. El bus SPI¹¹ puede operar con un sólo dispositivo maestro y uno o más dispositivos esclavos. Esta interfaz también es llamada “interfaz de cuatro alambres”. Las señales en el bus SPI son nombradas de la siguiente manera: MOSI: Master Output, Slave Input, MISO: Master Input, Slave Output, SCLK: Serial Clock, SS: Slave Select. Un uso muy común de este protocolo es que permite establecer comunicaciones con unidades de almacenamiento masivo como las memorias SD.

- I2C¹²: Según García (2008), I2C es un bus que se basa en la comunicación a través de dos hilos. Cada dispositivo conectado al bus tiene una dirección, y puede configurarse como una comunicación de varios maestros y varios esclavos o una configuración multimaestro. En ambas configuraciones el dispositivo maestro es el que tiene la iniciativa en la transferencia, y decide con quién se realiza, el sentido de la misma (envío o recepción desde el punto de vista del maestro) y cuándo finaliza.

Durante todo el desarrollo de este prototipo se emplearon estos tres protocolos de comunicación de acuerdo al dispositivo periférico con el cual el microcontrolador establecía una conexión.

1.11 DataLogger

Según Technology S.A de C.V (S.F) Un registrador de datos (datalogger) es un dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o conectados externamente (termopares). Casi todos están basados en microcontroladores. Por lo general son pequeños, con pilas, portátiles, y equipados con un

¹¹Serial Peripheral Interface

¹² Inter Integrated Circuit

microprocesador, memoria interna para almacenamiento de datos y sensores. Algunos registradores de datos se comunican con un ordenador personal y utilizan software específico para activar el registrador de datos, ver y analizar los datos recogidos, mientras que otros tienen un dispositivo de interfaz local (teclado, pantalla LCD) y puede ser utilizado como un dispositivo independiente.

Uno de los principales beneficios del uso de registradores de datos es la capacidad para recopilar automáticamente datos las 24 horas del día. Tras la activación, los registradores de datos normalmente se dejan sin vigilancia para medir y registrar la información durante toda la duración del período de seguimiento. Esto permite una visión global y precisa de las condiciones ambientales objeto de seguimiento, tales como la temperatura del aire y la humedad relativa. (Technology S.A de C.V, S.F).

1.12 RTC

Un Reloj en tiempo real (en inglés, real-time clock, RTC) (ver figura 20) es un reloj de un ordenador, incluido en un circuito integrado, que mantiene la hora actual. Aunque el término normalmente se refiere a dispositivos en ordenadores personales, servidores y sistemas embebidos, los RTC están presentes en la mayoría de los aparatos electrónicos que necesitan guardar el tiempo exacto (Arrow Electronics, S,F).

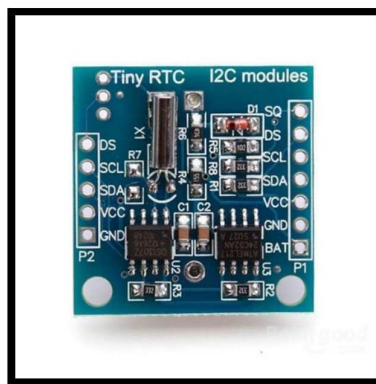


Figura 20 Modulo RTC DS-1307

Por medio del uso de un Reloj en tiempo real (RTC), el dispositivo electrónico tendrá la fecha y la hora disponibles al momento de activarse, sin tener que hacer referencia a una fuente externa. El RTC debe poder funcionar sin fallas, incluso si se retira la tensión externa de la unidad por meses o, incluso, años.

1.13 Tarjeta de memoria

Una tarjeta de memoria según Ibrahim (2010), es un dispositivo electrónico de estado sólido para el almacenamiento de datos. Estas tarjetas pueden guardar datos, aunque ya se hayan desconectado de su fuente de voltaje. Esta habilidad para retener datos las hace útiles en una variedad de aplicaciones industriales y de electrónica de consumo como por ejemplo cámaras digitales, teléfonos móviles, sistemas de posicionamiento global, reproductores MP3, computadoras embebidas, productos de redes, sistemas militares, dispositivos de comunicación y productos médicos.

Estas tarjetas están basadas en dos tecnologías las cuales son NOR y NAND. La primera de éstas proporciona capacidades de acceso aleatorio de alta velocidad, donde el dato si es tan pequeño como un sólo byte, puede ser recuperado. Las tarjetas de memoria basadas en esta tecnología son a menudo encontradas en teléfonos móviles, asistentes digitales personales y computadoras. Por su parte, la tecnología NAND permite acceso secuencial a un dato en páginas únicas, pero no permite recuperar únicos bytes de datos como la tecnología NOR. Las tarjetas de memoria basadas en esta tecnología se encuentran en teléfonos móviles, cámaras digitales, dispositivos de audio y video, y otros dispositivos donde los datos se escriben y leen de manera secuencial. Existen varios tipos de tarjetas de memoria disponibles en el mercado, pero las más comunes para sistemas embebidos son las memorias MMC y las memorias SD.

- Tarjetas Multimedia (MMC, por sus siglas en inglés): éstas fueron usadas inicialmente en teléfonos móviles y radiolocalizadores, pero hoy en día se usan en muchos dispositivos electrónicos. Son

compatibles con tarjetas SD y pueden caber en slots de memoria SD. Estas tarjetas operan a un voltaje de 3.3 V y la tasa de transferencia de datos es de aproximadamente 2.5 MB/s. Se encuentran disponibles en capacidades hasta 4 GB. Existen nuevas versiones de este tipo que trabajan con un voltaje más bajo, reduciendo así el consumo de energía en dispositivos portátiles.

- Tarjetas SD: Son las tarjetas de memoria más usadas en la actualidad. Éstas se encuentran en muchos dispositivos portátiles como cámaras digitales, teléfonos móviles, receptores GPS, consolas de video juego, etc. Tienen capacidades de almacenamiento desde 4MB hasta 4 GB, aunque sus nuevas versiones tienen capacidades desde 4 GB hasta 32 GB. Su grosor es mayor que el de las tarjetas MMC por lo que no caben en sus respectivos slots y la estructura interna de sus registros es distinta. También están disponibles en tres diferentes tamaños: estándar, mini y micro.

Para el desarrollo de este prototipo se utilizó una tarjeta SD de 4 GB de capacidad para almacenar los resultados de las mediciones realizadas con su respectiva fecha y hora. Éstas se guardan en un archivo .txt, el cual puede visualizarse fácilmente al insertar la tarjeta de memoria en una computadora personal. Se decidió utilizar esta tarjeta debido a la facilidad que se ofrece para extraer la información almacenada ya que este dispositivo de almacenamiento interactúa con equipos de uso común tal como laptops, tablets y teléfonos celulares.

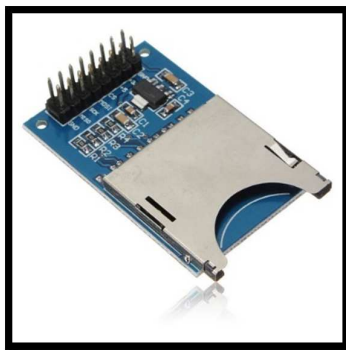


Figura 21 Modulo SD-Card

1.14 Galga extensométrica

Una galga extensométrica o “strain gage” (en inglés), es un dispositivo transductor universal que se utiliza para la medición electrónica de diversas magnitudes mecánicas, como pueden ser: la presión, carga, torque deformación, posición, etc. Se entiende por strain o esfuerzo a la cantidad de deformación de un cuerpo debido a la fuerza aplicada sobre él. Si se le pone en términos matemáticos, strain se define como la fracción de cambio de longitud (Orellana, Tello, 2011).

Los motivos para no considerar el uso de un strain gauge como sensor en este trabajo, corresponden a las dificultades para su manipulación, y además para implementar y caracterizar un mecanismo de tracción adecuado. Si bien existe un dendrómetro radial en el mercado que utiliza esta tecnología, su especificación relativa al rango de medición (0; 7mm) resulta insuficiente para los requerimientos planteados (Aguirre, et. al, 2013).

1.15 LT1054

El LT 1054 es un capacitor monolítico, bipolar, conmutado Convertidor de tensión y regulador. El LT1054 proporciona mayor corriente de salida que los convertidores disponibles anteriormente con pérdidas de voltaje significativamente menores. Un interruptor adaptable esquema de controlador optimiza la eficiencia en una amplia gama de Corrientes de salida. Pérdida de voltaje total a una corriente de salida de 100 mA es típicamente 1.1V. Esto es cierto en toda la tensión de alimentación Rango de 3.5V a 15V. La corriente de reposo es típicamente de 2,5 mA (Texas Instruments, 1990).

El LT1054 también proporciona regulación, una característica que no estaba disponible previamente en los convertidores de voltaje de condensador conmutado. Por añadiendo un divisor resistivo externo una salida regulada puede Ser obtenido. Esta salida será regulada contra cambios. tanto en tensión de entrada como en corriente de salida. El LT1054 puede También se apaga

conectando a tierra el pin de retroalimentación. Suministro la corriente en el apagado es inferior a 100 μ A. (Texas Instruments, 1990)

En el presente proyecto se utilizó la configuración de inversor de voltaje, para poder proporcionar el voltaje negativo que el sensor LVDT, necesitaba para su correcto funcionamiento.

1.16 ADS1115

El ADS1115 es un conversor analógico digital (ADC) externo que se puede conectar a un procesador como Arduino para medir señales analógicas. El ADS1115 proporciona 4 ADC de 16 bits, 15 para la medición y un último para el signo. Se conecta por I2C, por lo que es sencillo realizar su lectura. Dispone de 4 direcciones, que se elige mediante la conexión del pin ADDRESS. El interés de emplear un ADC como el ADS1115 es obtener una mayor precisión, además de liberar de esta carga al procesador. Además, en ciertas configuraciones, es posible medir tensiones negativas. (Llamas, 2016a)

Tiene dos modos de medición, single ended y diferencial. En el modo single ended disponemos de cuatro canales de 15 bits. En el modo diferencial usamos dos ADC para cada medición, por lo que el número de canales se reduce a 2, pero tendremos la ventaja de poder medir tensiones negativas y mayor inmunidad al ruido (Llamas, 2016b).

También dispone de un modo comparador en el que el ADS1115 genera una alerta por el pin ALERT cuando cualquiera de los canales supera un valor de umbral que fijamos por código. Por último, el ADS1115 incorpora un PGA que permite ajustar la ganancia desde 6.144V a 0.256V. Esto permite obtener precisiones superiores cuando midamos tensiones inferiores a 5V. Independientemente del PGA elegido la máxima tensión que se podrá medir será siempre la tensión de alimentación. Es decir, aunque el PGA sea 6.144V, no podremos medir tensiones superiores a 5V (Llamas, 2016c).

CAPITULO II: ANALISIS Y PRRSENTACION DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los aspectos relacionados con el diseño e implementación del sistema, además se describe la metodología adoptada, pruebas y resultados obtenidos en la implementación del proyecto.

La investigación realizada es de tipo aplicada debido a que su propósito principal es la búsqueda de la solución de un problema práctico a través de los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera. Se ha puntualizado desarrollar un prototipo digital de un dendrómetro, para el monitoreo del crecimiento del tallo de un árbol para así almacenar los datos diarios del crecimiento de este. Esta investigación empieza con un estudio exploratorio en el que se recopilará información acerca de la problemática.

La metodología a utilizar es de tipo cuantitativa porque se tomará en cuenta la medición del estrés del árbol de Teca, que se reflejará en el ensanchamiento o disminución del área radial del árbol a través del sensor seleccionado. Esta medición proporcionará datos a partir de los que se diseñarán experimentos que indicarán la exactitud de los valores brindados por el dispositivo.

En este trabajo monográfico se despliegan 4 etapas las cuales son Análisis, diseño, desarrollo y evaluación. Cada una de estas etapas contemplan puntos específicos que fueron de vital importancia para la culminación del sistema.

2.1 Etapa de Análisis

La primera etapa contempla una serie de entrevistas¹³ con los interesados del proyecto y un análisis descriptivo, para determinar claramente la problemática y dimensionar el alcance de la solución, lo cual se logró a través de visitas de campos en la empresa MLR-Forestal. Se evaluó el estado actual de los dendrómetros con que cuenta la empresa y se plantearon los criterios de desempeño que regirán el proyecto hasta el final.

¹³Véase las entrevistas realizadas en la sección A.2 de anexos

2.1.1 Situación actual respecto al monitoreo radial en arboles de teca en la empresa MLR-Forestal

Se realizaron visitas de campo, en empresa MLR-Forestal, esto con previo aviso a la gerencia y encargados del área de cultivo, para realizar cualquier tipo de medición, pruebas, consultas, entrevistas, etc. respetando los horarios establecidos y normas de seguridad de la empresa. A través de esta visita se pudo constatar el estado actual de los sistemas de medición con que cuenta empresa e información general respecto a esta¹⁴.

La empresa MLR-Forestal, se dedica desde aproximadamente 10 años a la producción de un tipo de árbol de madera preciosa llamado Teca. La teca es un árbol del cual se conocía poco en la R.A.C.C.N¹⁵, pero su fama de dejar buena renta empujó la expansión de su cultivo en esta zona. La producción de este tipo de árboles es muy costosa, por lo cual se debe de monitorear constantemente parámetros agrometeorológicos de interés en el área de cultivo y del árbol mismo, para evitar pérdidas económicas al momento de proyectarlo y comercializarlo, debido a que el mercado de este tipo de plantaciones es muy exigente¹⁶.

Uno de los parámetros que se deben de monitorear constantemente referente a la plantación es el crecimiento perimetral o radial del tallo, lo cual en esta empresa se realiza de una manera primitiva; dendrómetro es el dispositivo que se instala, para el constante monitoreo del crecimiento del tallo del árbol, sin embargo los que se encuentran disponibles en las plantaciones para realizar este trabajo son totalmente artesanales, es decir una vez instalados en un árbol, una persona debe de estar supervisando constantemente, para recolectar los datos de crecimiento, objetivo que no se cumple debido que las plantaciones están a una distancia considerable de las oficinas de trabajo.

¹⁴ véase acuerdo en la sección A.1 de anexos

¹⁵ región Autónoma de la Costa Caribe Norte

¹⁶ para constatar información sobre la empresa visitar el sitio web <http://mlr.com.ni/>

Los dendrómetros que se encuentran instalados en las plantaciones, son básicamente una cinta adjuntada a una escala metálica con lecturas en milímetros tensionadas al árbol, con un indicador que se va desplazando cada vez que el tallo del árbol va creciendo. Una situación incómoda que se presenta con dendrómetros instalados, es que la escala de medición es muy pequeña y hay que estar reajustándola cada vez que la medición no puede continuar.

Por otro lado, la toma de las mediciones es un gran inconveniente, ya que actualmente no hay un constante seguimiento diario de los datos proporcionados por los dendrómetros. Actualmente los datos se recopilan en un periodo de entre 6 a 8 días que es un periodo considerable en el que se pueda apreciar el crecimiento del tallo del árbol a través de los dendrómetros instalados, sin embargo, es recomendable la recopilación de los datos diariamente, para una mayor eficiencia en los trabajos futuros que se realizan a raíz de las mediciones obtenidas.

Otro inconveniente que genera el actual sistema de medición, es que debido a que se depende de un personal para la toma de las mediciones, muchas veces los datos se pierden o presentan errores en las lecturas, lo cual genera problemas futuros a la hora del procesamiento de los datos obtenidos.

Existen dendrómetros digitales, para la realización de este trabajo, sin embargo, son de muy alto costo, por lo cual La empresa está interesada en la modernización del sistema de medición.

2.1.2 Surgimiento y Alcance del proyecto.

En la empresa MLR-Forestal, anualmente se dan charlas en sus instalaciones de trabajo referente al cultivo y técnicas de trabajo en el sector agroforestal. En una de esas charlas en la cual se hizo presencia, se abordó el tema del monitoreo en estas plantaciones y se plantearon alternativas para mejorar esta práctica.

Se procedió hacer preguntas referentes a este tema a los encargados de las charlas y ellos afirmaron que no se contaba con la tecnología necesaria, para que la realización de este trabajo fuera lo más eficiente posible, sin embargo, que había países que su sistema de medición era totalmente actualizado. Teniendo en cuenta esta información, surgió la idea de proponer un sistema de monitoreo para estas plantaciones; tal propuesta fue presentada por el responsable y posteriormente aceptada mediante un acuerdo formal ante la gerencia de la empresa.

Las dimensiones de este trabajo monográfico, fueron dialogadas con los responsables del área de monitoreo de la empresa MLR-Forestal, quienes expresaron sus ideas y dieron pautas para la elaboración de los requerimientos con que contaría el sistema. Se enfocó en la elaboración de un prototipo que fuese sencillo y que a la vez cumpliera con el objetivo principal que era la recopilación de datos.

2.1.3 Requerimientos del sistema

Desde el inicio de este trabajo investigativo, se contó con el apoyo de la empresa MLR-Forestal, los cuales han brindado su apoyo incondicional al autor de dicho trabajo, por el motivo que este ayudaría a la empresa en la tecnificación agrícola.

El autor se rigió por las rubricas de desempeño que dio la empresa para la realización de este dispositivo¹⁷, las cuales fueron plasmadas en la carta de acuerdo que se firmó entre el autor y el gerente de operaciones de la empresa las cuales fueron:

- El sistema deberá funcionar con una fuente de alimentación independiente.

¹⁷ véase acuerdo en la sección A.1 de anexos

- El sistema deberá de contar con una memoria portable que permita trasladar los valores almacenados de un lugar a otro.
- Se deberá guardar valores de crecimiento del árbol, cada 24 horas.
- se deberá registrar, la hora, día y mes de cada medición guardada.
- Los datos registrados en la memoria, deberán ser visualizados Microsoft Excel.
- El sistema a desarrollar, no deberá de causar daños a la corteza del árbol.

2.2 Etapa de Diseño del Sistema

En este apartado se explica el proceso que se realizó para el diseño del sistema comenzando con un esquema general y luego describiendo cada uno de los bloques de este a partir de los requerimientos del sistema que se obtienen a través de los criterios de desempeño de los interesados, observando un orden secuencial similar al que sigue la señal física desde el momento en el que se adquiere hasta el momento en que se visualiza.

De forma paralela a la explicación del diseño se abordarán análisis teóricos con el fin de mostrar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos, especialmente en el desarrollo de la tarjeta electrónica.

2.2.1 Esquema general del sistema

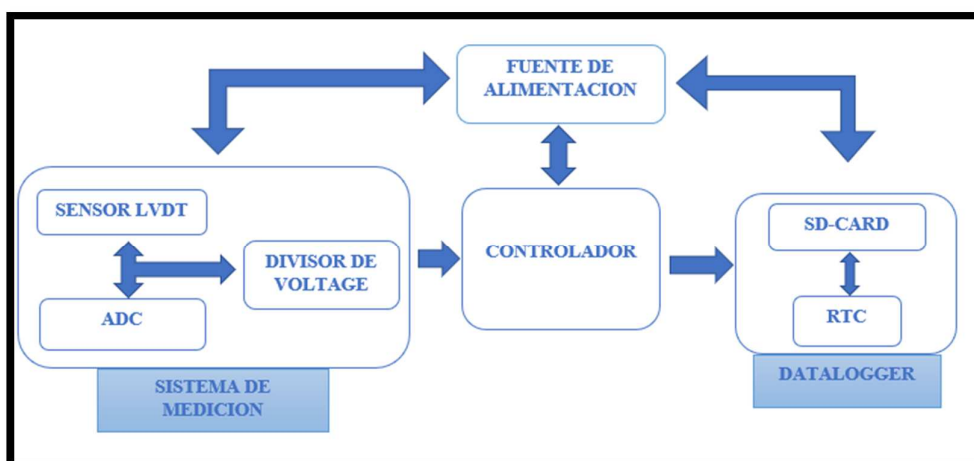


Figura 22 Diagrama de bloques del sistema. Fuente: Autor

En el dendrómetro digital, que se desarrolló en este trabajo monográfico, se visualizan tres etapas fundamentales como son: medición, procesamiento y almacenamiento, se representan a través del diagrama de bloques del sistema, con el objetivo de tener una visión general y un punto de partida para la descripción de cada proceso de nuestro sistema.

En el dendrómetro digital como tal interesa los datos que proporcionara el sistema y para esto conlleva todo el proceso como se puede apreciar en la imagen anterior.

El dendrómetro digital tiene como objetivo captar las micro variaciones que son generadas por el árbol en estudio y seguidamente interpretadas por el sensor LVDT; El ADC es el encargado de convertir la señal eléctrica proporcionada por el sensor a una señal digital, para poder ser procesada a través del microcontrolador, pero antes de entrar al procesamiento de esta información se necesita adaptar el voltaje de la señal brindada por el sensor a valores que el controlador pueda interpretar, a través de un divisor de voltaje. Una vez que el controlador tiene ese dato, se encarga de convertirlo a una lectura que pueda ser interpretada por el operario y seguidamente guardada en la memoria. El RTC, es el encargado de adornar este dato con la fecha y hora que fue guardado.

2.2.2 Selección del sensor a utilizar

Como este proyecto consiste en la realización de un dendrómetro digital, se necesitó seleccionar minuciosamente el sensor a utilizar entre tantas opciones posibles que hay. Se desea captar y registrar los más mínimos desplazamientos respecto al tronco de un árbol de teca; debe ser robusto y duradero por el hecho que estará a la intemperie; también se deben de tomar en cuenta aspectos referente a la alimentación y consumo energético. El sensor seleccionado debe de ser prácticamente inmune al ruido debido a que las variaciones pequeñas generalmente son distorsionadas por el ruido del ambiente.

Se consideraron tres opciones las cuales son:

- Galga extensométrica
- Diseñar una réplica LVDT
- LVDT DC 1000-EC

En términos generales se debe escoger el sensor basado en:

- Costo
- Vida útil
- Operación a la intemperie
- Rango de medición en
- Fuente de alimentación
- Acondicionamiento de señal

Tabla 2 Evaluación de los tres sensores considerados para el sistema referente a los parámetros de selección. Fuente: Autor.

	Replica LVDT	LVDT DC 1000-EC	Galga Extenso métrica
Costo \$	\$40	\$200	\$5
Vida útil	Se va degradando con el tiempo	Años de duración	Se va degradando con el tiempo, por tanto, pierde exactitud en la medición
Operación a la intemperie	Al ser una réplica las condiciones climáticas le afectan	Su encapsulado lo hace ser robusto en aplicaciones al aire libre	Le afecta las condiciones climáticas, especialmente la lluvia
Rango de medición	0.1mm en dependencia del diseño de las bobinas	0.01mm	0.7mm
Fuente de alimentación	AC	DC	DC (+-v)
Acondicionamiento de señal	Acondicionamiento de señal externo	Acondicionamiento de señal incorporada en encapsulado del dispositivo	Acondicionamiento de señal externo

Para implementar un transductor de desplazamiento con la galga extensométrica, se requiere entonces diseñar un mecanismo que flexione una superficie sobre la cual se adhiere este dispositivo. La utilización de este

dispositivo como sensor, fue descartada automáticamente por el hecho de ser frágil en ambientes abiertos. La lluvia, polvo y otras condiciones ambientales podían afectar el correcto funcionamiento de esta

El diseño de una réplica de un sensor LVDT, fue una opción que se consideró debido a que estos sensores generalmente son muy caros. Las complicaciones de utilizarlo era la fuente de alimentación, ya que este tendría que ser alimentado con corriente alterna y el sistema que se desarrollaría funcionaría con energía solar y corriente directa.

El sensor LVDT DC 1000-EC es la mejor opción considerando que trae incorporado su respectivo acondicionamiento de señal y funciona con corriente directa.

2.2.3 Características técnicas del sensor seleccionado

Una vez analizadas todas las características técnicas con que debe de cumplir el sensor seleccionado para la aplicación en el sistema a desarrollar se describen las especificaciones de este en la siguiente tabla:

Tabla 3 Especificaciones del sensor seleccionado. Fuente: (chaevits sensors, 2006)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SENSOR LVDT DC 1000-EC	
Input Voltage	+ - 15VDC (nominal)
Input Current	+ - 25mA
Linearity	0.25% Full rango
Stability	0.125% Full Scale
V/mm	0.39

2.2.4 Calibración del sensor LVDT DC 1000-EC, mediante pruebas de laboratorio.

El sensor utilizado tiene una respuesta de salida lineal, en dependencia del material y tamaño del núcleo magnético. Por razones de envío, una vez que se hizo la compra del dispositivo vino sin el núcleo magnético por lo cual se procedió a buscar uno que pudiera funcionar lo mejor posible. Por orientación del fabricante el material del núcleo magnético tendría que ser Ferrita, sin embargo, no fue posible encontrar un núcleo de ese material.

Se procedió hacer pruebas de laboratorios para ver el funcionamiento y respuesta del sensor con un núcleo de hierro. A continuación, se muestran unas tablas donde se aprecia la linealidad del sensor con distintos núcleos de hierro:

➤ Núcleo de hierro de 2 cm

Tabla 4 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de 2 cm, dando como resultado un rango de medición de 5 Cm. Fuente: Autor.

X1	X2	Desplazamiento	Voltaje
332.9 mV	1.509 V	1 Cm	1.1761V
1.509 V	2.812 V	1 Cm	1.303 V
2.812 V	3.98 V	1 Cm	1.168 V
3.98 V	5.09 V	1 Cm	1.110 V
5.09 V	6.37 V	1 Cm	1.280 V

El análisis de los datos anteriores nos da como resultado una relación voltaje/desplazamiento. En las especificaciones del sensor se constata que su salida es lineal brindando 0.39mV/mm, por tanto, con estos datos de la Tabla 4 podemos constatar la relación utilizando la Ec.2 de la media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{N} \quad (2)$$

Ingresando los valores de la tabla anterior para sacar la media aritmética tenemos:

$$\bar{x} = \frac{1.1761 + 1.303 + 1.168 + 1.110 + 1.280}{5} = 1.2 \text{ volts/cm}$$

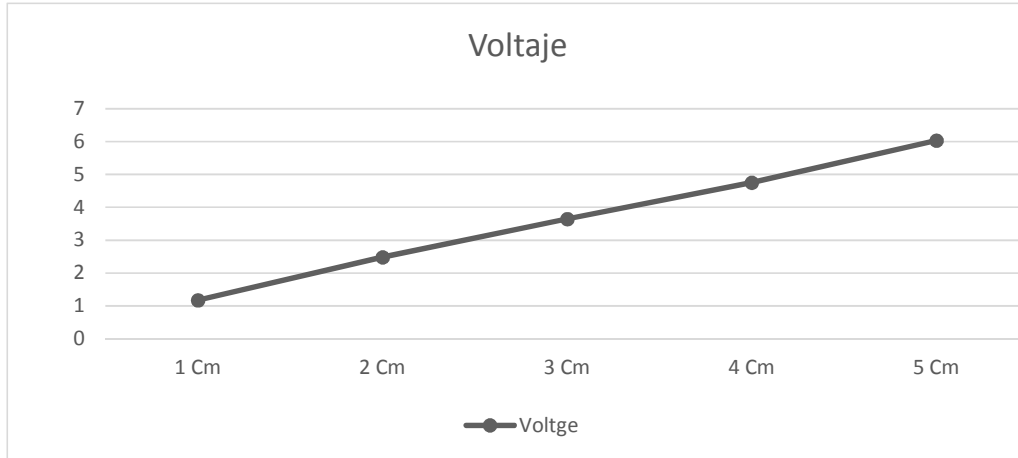


Figura 23 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 2 Cm, con un voltaje de salida máximo de 6.0375 Volts. Fuente: Autor

➤ Núcleo de hierro de 4.7 cm

Tabla 5 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de=4.7 Cm, dando como resultado un rango de medición de 3 Cm. Fuente: Autor.

X1	X2	Desplazamiento	Voltaje
1.870 V	5.03 V	1 Cm	3.16 V
5.03 V	8.17 V	1 Cm	3.17 V
8.17 V	11.54 V	1 Cm	3.37 V

Ingresando los datos obtenidos través de la tabla, en la fórmula de la media aritmética tenemos:

$$\bar{x} = \frac{3.16 + 3.17 + 3.37}{3} = 3.23 \text{ volts/cm}$$

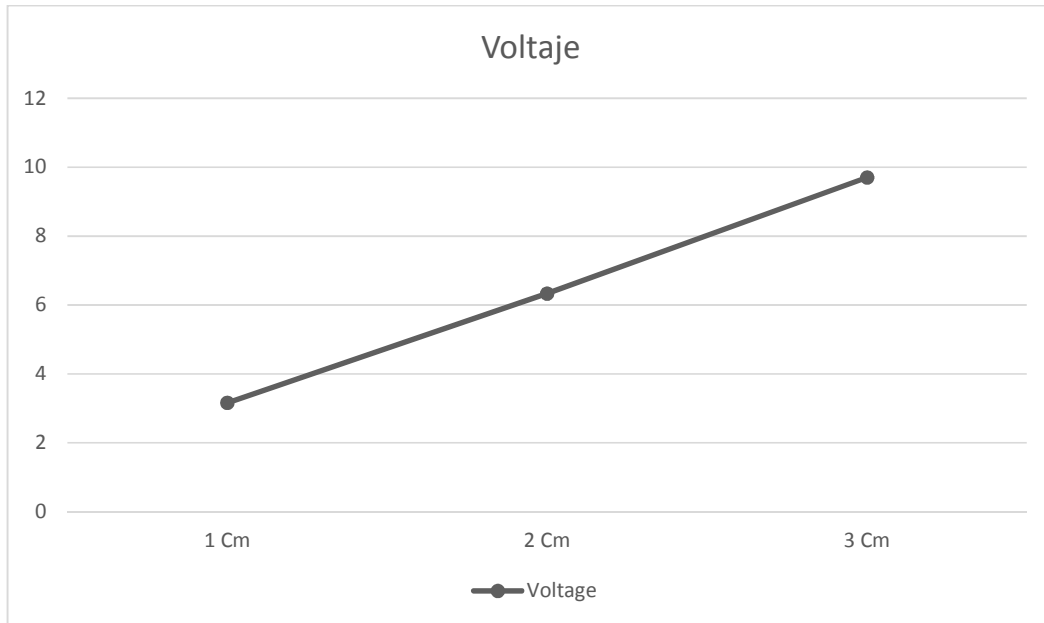


Figura 24 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 4.7 Cm, con un voltaje de salida máximo de 9.7 Volts. Fuente: Autor

➤ Núcleo de hierro de=4 cm

Tabla 6 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de 4 Cm, dando como resultado un rango de medición de 4 Cm. Fuente: Autor.

X1	X2	Desplazamiento	Voltaje
267.7mV	2.828 V	1 Cm	2.5603 V
2.828 V	5.53 V	1 Cm	2.702 V
5.53 V	8.13 V	1 Cm	2.6 V
8.13 V	10.74 V	1 Cm	2.61 V

Ingresando los datos obtenidos través de la tabla, en la fórmula de la media aritmética tenemos:

$$\bar{x} = \frac{2.5603 + 2.702 + 2.6 + 2.61}{4} = 2.61 \text{ volts/cm}$$

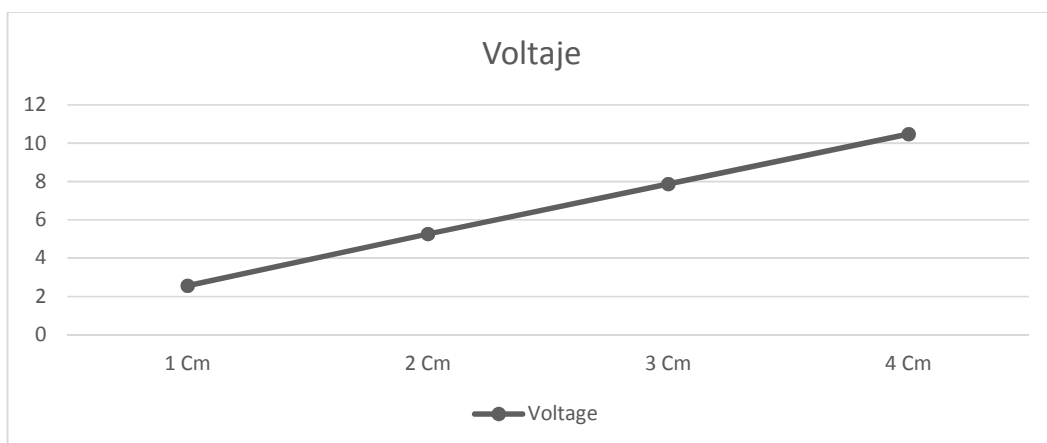


Figura 25 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 4 Cm, con un voltaje de salida máximo de 10.4723 Volts. Fuente: Autor

➤ Núcleo de hierro de 4 cm con muestras de desplazamiento de 0.5 cm

Tabla 7 Prueba de laboratorio con un núcleo de hierro de 4 Cm, dando como resultado un rango de medición de 4 Cm. Fuente: Autor.

X1	X2	Desplazamiento	Voltaje
252mV	1.526 V	0.5 Cm	1.274 V
1.526 V	2.828 V	0.5 Cm	1.302 V
2.828 V	4.19 V	0.5 Cm	1.362 V
4.19 V	5.53 V	0.5 Cm	1.34 V
5.53 V	6.87 V	0.5 Cm	1.34 V
6.87 V	8.13 V	0.5 Cm	1.26 V
8.13 V	9.59 V	0.5 Cm	1.46 V
9.59 V	10.82	0.5 Cm	1.23 V

Ingresando los datos obtenidos través de la tabla, en la fórmula de la media aritmética tenemos:

$$\bar{x} = \frac{1.274 + 1.302 + 1.362 + 1.34 + 1.34 + 1.26 + 1.46 + 1.23}{8} = 1.321 \text{ volts /0.5cm}$$

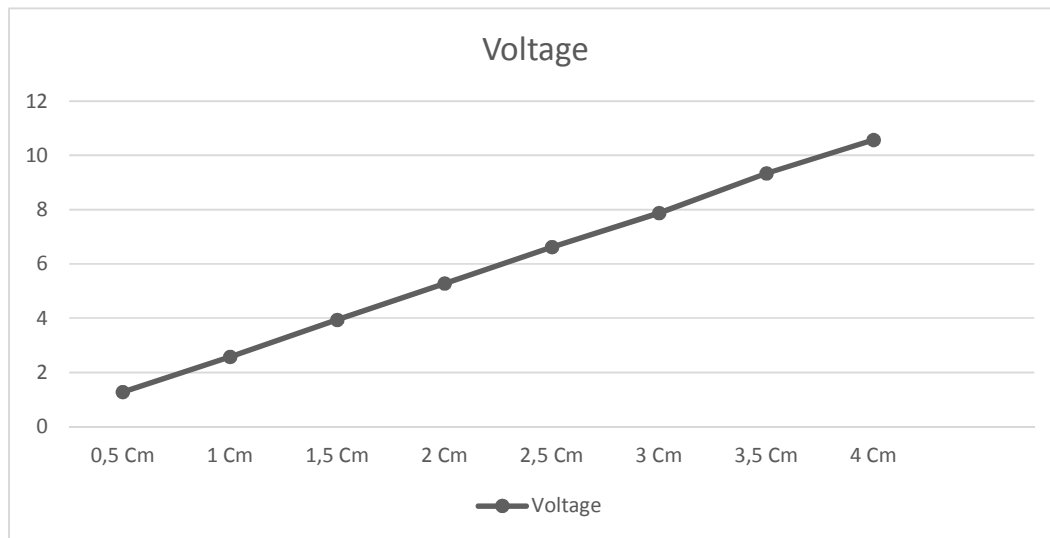


Figura 26 La grafica muestra la linealidad del sensor respecto al núcleo de hierro de 4 Cm, con un voltaje de salida máximo de 10.4723 Volts. Fuente: Autor

2.2.5 Diseño de fuente de alimentación para el sensor LVDT DC-1000EC

Como se muestra anteriormente en la figura 14 el sensor seleccionado, debe de alimentarse en un rango de $\pm 15\text{V}$ que es lo típico. Se hicieron pruebas y se constató correcto funcionamiento con $\pm 12\text{ Volts}$. Se tubo que diseñar una fuente de alimentación que pudiera proporcionar el voltaje negativo, debido a que la fuente general del sistema simplemente proporciona $+12\text{ Volts}$; a partir de estos $+12\text{ volts}$ que se desea generar los -12 Volts que necesitara nuestro sensor para su correcta operación.

Se pretende utilizar el circuito integrado LT 104519, el cual es un inversor de voltaje. En este caso se configuro para tener una salida de voltaje de -12 V . Consta de incorporar un capacitor a la entrada y salida más un capacitor entre los pines 2-4. La configuración del LT1054 fue obtenida de la hoja de datos del componente¹⁸. La siguiente imagen muestra la simulación en el programa Proteus:

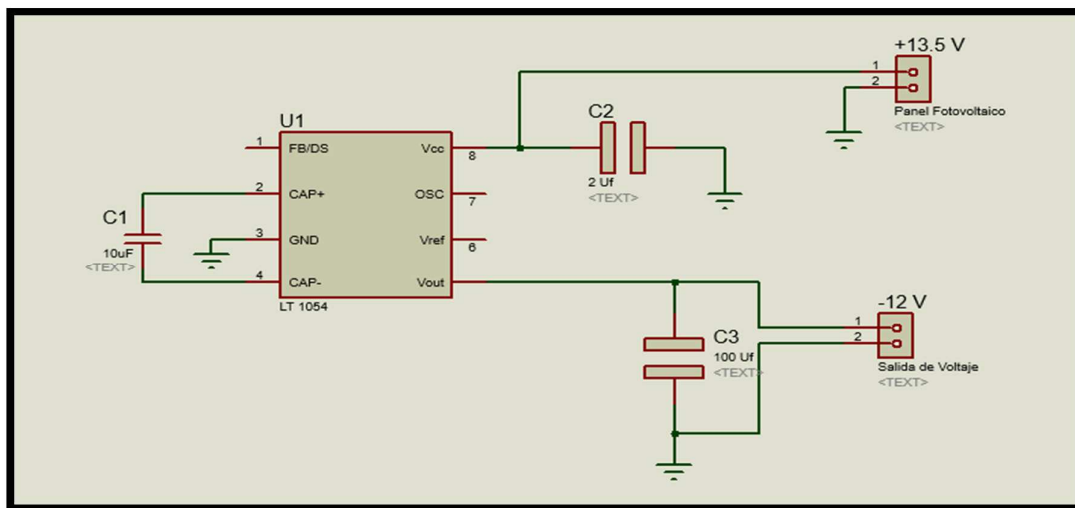


Figura 27 La imagen, muestra el aspecto de una réplica de un sensor LVDT, alimentado con corriente alterna. Fuente: Autor

¹⁸hoja de dato en la sección H de anexos.

Se necesita utilizar un LM7812, para poder regular el voltaje que llega directamente al LT1054, y así poder evitar que a la salida del dispositivo haya variaciones. En la siguiente imagen se muestra la simulación completa de esta fuente de alimentación.

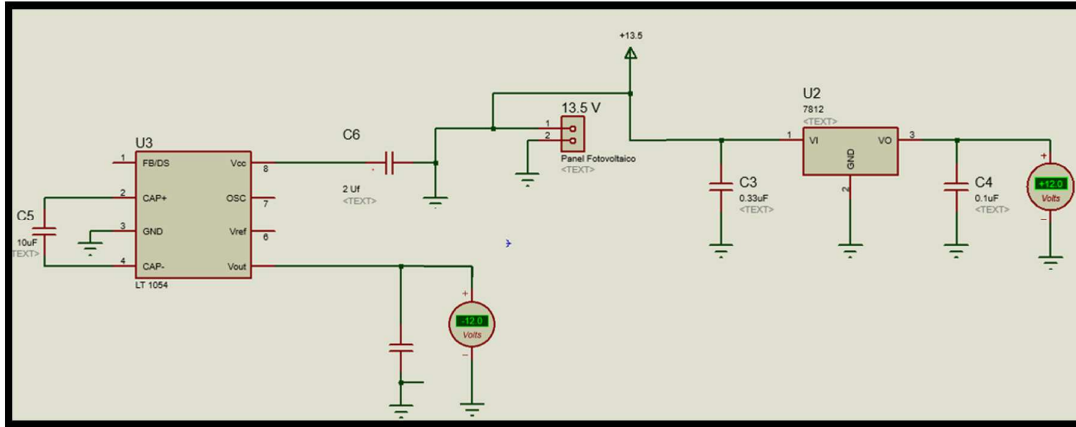


Figura 28 La imagen, muestra la simulación de la fuente de alimentación con salida negativa utilizando el integrado LT1054. Fuente: Autor

2.2.6 Elaboración de PCB de fuente de alimentación para sensor

Primeramente, se procedió a la elaboración de las pistas del circuito, en el programa Proteus, seguidamente la elaboración del circuito impreso que incluye la impresión de las pistas, el planchado la puesta en acido, la perforación y soldadura en la tarjeta.

Una vez que la tarjeta estuviese lista se procede a probar el correcto funcionamiento de esta. En las siguientes imágenes se muestra el resultado de todo este proceso de la elaboración de esta PCB.

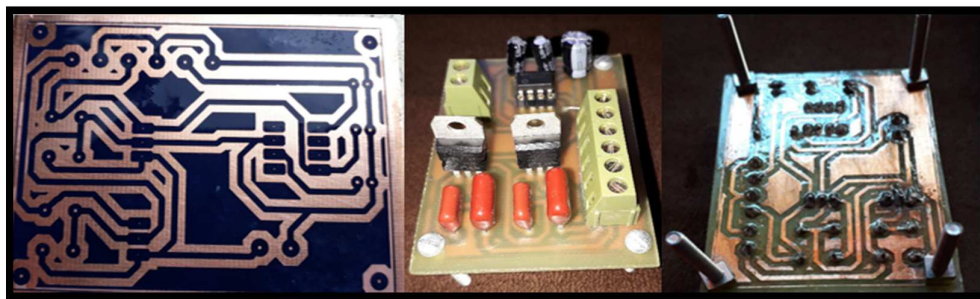


Figura 29 PCB fuente de alimentación -12v. Fuente: Autor

2.2.7 Determinación del Conversor analógico Digital

Dado que el sensor seleccionado para nuestro sistema es un sensor analógico, es decir que nos brinda un voltaje en dependencia del desplazamiento, se necesita utilizar un ADC. El dendrómetro digital, tiene como función principal captar las micro variaciones del crecimiento del tallo del árbol de teca, por lo cual se necesita un ADC, de alta resolución las características con que debe contar este ADC me muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8 Comparación entre 3 ADC de la misma familia. Fuente: Autor.

	ADS 1115	ADS110	ADS8319
Resolución 16 bits	Si	No	si
VCC +5V	Si	si	si
Bajo costo (Entre \$5-10)	Si	si	no
Protocolo I2C	Si	no	si
Disponibilidad en el mercado nacional	No	no	no
Compatibilidad con Arduino Nano	Si	no	no
Rango de medición de 0-5V	Si(0-4.096V)	Si(0-5V)	Si (0-5.5V)

Se selecciono el ADS1115 (fig. 30), el cual proporciona 4 ADC de 16 bits, 15 para la medición y un último para el signo. El ADS1115 se conecta por I2C, por lo que es sencillo realizar su lectura. Dispone de 4 direcciones, que se elige mediante la conexión del pin ADDRESS. El interés de emplear un ADC como el ADS1115 es obtener una mayor precisión, además de liberar de esta carga al procesador. Además, en ciertas configuraciones, es posible medir tensiones negativas.

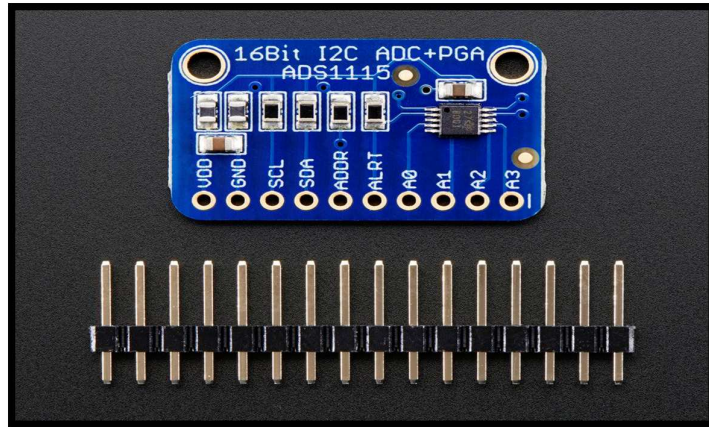


Figura 30 ADS1115

El sensor LVDT, según su hoja de datos nos brinda 0.39V/mm, lo que quiere decir que mediría 12.82 mm máximos para un valor de 4.992 V, que sería el caso ideal, recordando que el ADC es funcional en el rango de 0-5 Volts. En la siguiente ecuación se constata esto:

$$\begin{array}{lcl}
 0.39\text{V} & \longrightarrow & 1\text{mm} \\
 5\text{ V} & \longrightarrow & X \\
 X=12.82\text{ mm}
 \end{array}$$

Sin embargo, las pruebas que se realizaron con el núcleo de hierro de 4 cm, como se muestra en la Tabla VII y VIII el sensor brinda 264 mV/mm, por tanto, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\begin{array}{lcl}
 0.264\text{V} & \longrightarrow & 1\text{mm} \\
 4.096 & \longrightarrow & X \\
 X=15.52\text{mm}
 \end{array}$$

El sensor brinda un valor máximo de 12V, lo que quiere decir que 30.769mm es el valor que este brindaría al valor máximo de 12 volts, sin embargo, las pruebas resaltan que son 45.45 mm.

El ADC que se utilizó, funciona en un rango de voltaje de 0-4.096V, es decir que con este podríamos leer hasta 10.502mm.

$$\begin{aligned} 0.39V &\longrightarrow 1mm \\ 4.096V &\longrightarrow X \\ X &= 10.532\text{ mm} \end{aligned}$$

Por esta razón se necesitó Diseñar un divisor de voltaje para poder leer toda la lectura que nos brinde el sensor que es de 45.45mm a 12 volts de salida.

2.2.8 Divisor de voltaje para reducción de lectura de salida del sensor LVDT

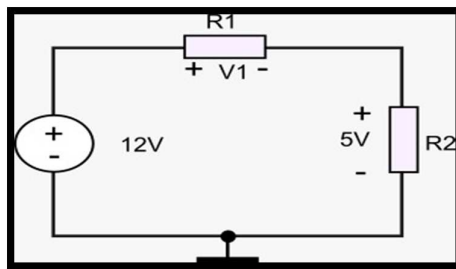


Figura 31 Análisis de circuito electrónico, para encontrar valores del divisor de voltaje. Fuente: Autor

Para encontrar V1

$$-12V + V1 + 5V = 0 \quad (\text{Ec.3})$$

$$V1 = 12V - 5V$$

$$V1 = 7V$$

Para encontrar R2

$$7V = R1 * I \quad (\text{Ec. 4})$$

Asumiendo $R1=100k$

$$I = \frac{7V}{100K} = \frac{V1}{R1} \quad (\text{Ec.5})$$

$$V2 = R2 * I \quad (\text{Ec.6})$$

Sustituyendo 5 en 6 tenemos:

$$V2 = R2 * \frac{V1}{R2}$$

$$R2 = V2 * \frac{R1}{V1}$$

$$R2 = 71.4K$$

Factor multiplicador

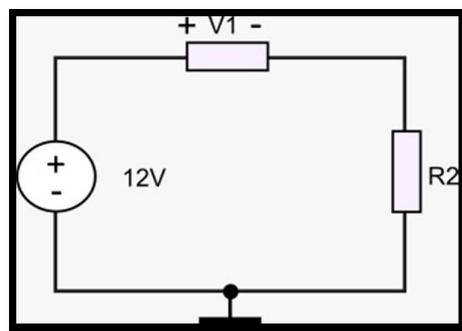


Figura 32 Análisis de circuito eléctrico, para encontrar en factor multiplicador. Fuente: Autor

$$V_{real} = V1 + V2 \quad (\text{Ec.7})$$

$$V1 = I * R1$$

$$I = \frac{V_{real}}{R1 + R2}$$

$$V_{real} = \frac{R1 + R2}{R2} * V2$$

Donde:

$$\frac{R1 + R2}{R2} \text{ Es el factor multiplicador}$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Factor Multiplicador} = \frac{71.4K + 100K}{71.4K} = 2.4$$

2.2.9 Elaboración de PCB para ADS 1115 y divisor de voltaje

una vez de haber seleccionado el ADC y haber realizado los cálculos pertinentes del divisor de voltaje se procedió a elaborar la PCB la cual consta de la elaboración de las pistas en proteus, el planchado, realizar perforaciones y soldaduras en la tarjeta, esto se puede apreciar en la siguiente imagen.

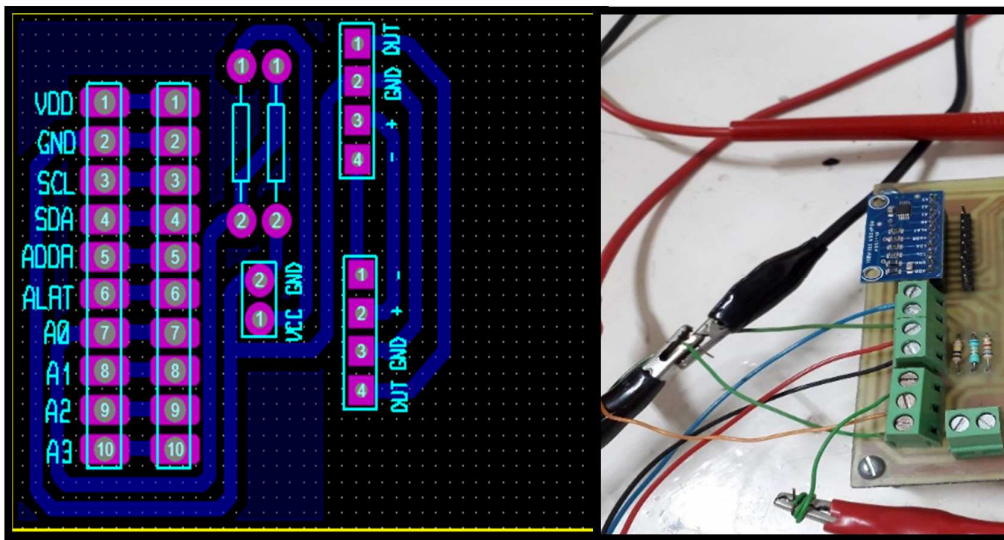


Figura 33 Elaboración de pistas y PCB para ADC y divisor de voltaje. Fuente: Autor

Como se preveía de acuerdo a los cálculos, el ADC y el divisor de voltaje funcionaron correctamente y nos dieron información relevante acerca de esta parte del sistema.

El ADC tiene una lectura máxima de 65,536 y esto convertido en voltaje es 4.096 V. Además de esto se pudo constatar la reducción del voltaje que brinda el sensor a través del divisor de voltaje en un factor de 2.4, lo cual nos permite leer los 12 v máximos que nos brinda el sensor.

2.2.10 Selección de componentes para el del Data Logger

La elaboración del Data Logger consta de la incorporación de un módulo de memoria SD-Card y un RTC DS1307. El objetivo de estos módulos es guardar los datos brindados por el sistema en lapsos de 24 horas. A continuación, se muestran las características técnicas de los dos módulos RTC y SD-Card disponibles:

Tabla 9 Comparación entre componentes que integran el Data Logger, RTC y SD-Card. Fuente: Autor.

	RTC DS1307	RTC DS3231	SD-Card
VCC +5V	si	si	SI
Protocolo I2C/SPI	Si /I2C	Si/I2C	SI/SPI
Bajo Costo (Entre 5-10\$)	Si (\$5)	Si (\$7)	SI (\$10)
Disponibilidad en el mercado nacional	SI	NO	SI
Compatibilidad con Arduino Nano	SI	SI	SI

La figura 34 muestra la configuración de pines y conexiones hacia el Arduino Nano. El RTC y la SD-Card son los elementos que conforman esta parte del sistema. Cabe destacar que son módulos de Arduino, por lo cual son sencillos de utilizar y programar y no necesitan componentes externos para su correcto funcionamiento.

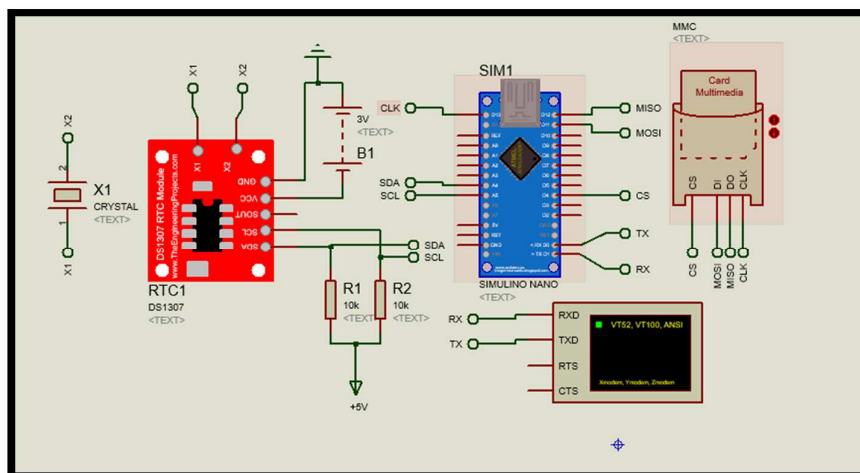


Figura 34 Simulación Data Logger. Fuente: Autor

2.2.11 Determinación del Microcontrolador

En el mercado se encontraron una amplia variedad de microcontroladores de distintas compañías, cuyos modelos se diferencian por su costo y funciones especiales. Por lo tanto, hubo varias alternativas para la selección del microcontrolador, éste debía ofrecer principalmente la capacidad de procesamiento necesaria para gobernar el sistema en su totalidad, protocolos de comunicación I2C y SPI, un bajo consumo de energía y un precio moderado. En la siguiente tabla se describen los recursos que el microcontrolador necesitaría para nuestro sistema:

Tabla 10 Recursos demandados por el microcontrolador a utilizar. Fuente: Autor.

CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR A UTILIZAR
Comunicación i ² c
Comunicación spi
6 Entradas Digitales
3 Entradas Analógicas
Bajo Consume de Energia
Bajo Costo (entre 5-10\$)
Dimensiones

2.2.12 Modulo Arduino Nano

La familia de microcontroladores de ATMEL nos ofrece el ATM328 que cumple con los requerimientos planteados en el inciso anterior. Se ha seleccionado ya que cumple con el número de E/S mínimas necesarias. EL microcontrolador viene incorporado en una placa de desarrollo Arduino Nano la cual es la que se utilizar en este sistema por su tamaño disponibilidad y bajo costo (alrededor de 15\$).

Tabla 11 Asignación de pines del módulo Arduino Nano. Fuente: Autor.

Pin	Nombre	Tipo de dato	Descripción
7	D4	SALIDA	CS/ SD-Card
14	D11	SALIDA	MOSI/SD-Card
15	D12	SALIDA	MISO/AD-Card
16	D13	SALIDA	SCK/SD-Card
23	A4	SALIDA	RTC/ADC
24	A4	SALIDA	RTC/ADC
27	VCC	SALIDA	VCC
29	GND	SALIDA	GND

2.2.13 Sistema fotovoltaico

El dendrómetro digital requiere poseer una fuente de alimentación energética independiente, ya que se prevé que el sistema se ubique en zona remota donde es inaccesible la red eléctrica comercial. Para cumplir con este criterio se hará uso de la energía solar, Sin embargo, esto garantizará el funcionamiento solo en momentos que este la energía solar disponible, pero es un requisito que el sistema presente un funcionamiento óptimo de 24 horas al día con un mínimo de 96 horas de autonomía por lo que se debe agregar al sistema fotovoltaico un sistema de respaldo.

Para la selección de la capacidad de los componentes del sistema fotovoltaico, se debe tener conocimiento de la cantidad de potencia que

demanda todo el sistema, por lo que el primer paso en el diseño es la realización de un censo de carga.

2.2.14 Censo de carga

En la siguiente tabla se muestra el consumo de los componentes del sistema:

Tabla 12 Censo de carga del sistema. Fuente: Autor.

Componente	Cantidad	Consumo en A	Consumo en mw
RTC	1	500nA	2.5mW
ADS1115	1	150uA	0.75mW
Arduino Nano	1	19mA	95mW
Sensor LVDT	1	60mA	300mW
SD-Card	1	20mA	100mW
LT1054	1	15mA	75mW
LM7812/05	2	22mA	110mW
Total		137mA	683.25 mW

A partir de la anterior se puede concluir que el sistema fotovoltaico debe suministrar al sistema la cantidad de 683.25 mW para su óptimo funcionamiento. Se utilizará una batería como respaldo al sistema fotovoltaico, para calcular la capacidad mínima de la misma para alimentar al sistema por 96 horas, se utiliza la siguiente formula:

$$T_d = \frac{C_{bat}}{C_{cons}} \quad (Ec.8)$$

T_d es el tiempo de descarga en horas.

C_{bat} es la capacidad de la batería es en Wh.

C_{cons} el consumo del dispositivo en W. Al despejar la ecuación queda:

Al despejar la ecuación tenemos:

$$Cabat = Consis * Td \quad (Ec.9)$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$Cabat = 683.25mW * 96h$$

$$Cabat = 65.592Wh$$

Sin embargo, las baterías indican su capacidad en Ah, por lo que la capacidad de la batería en Wh se divide por el voltaje de operación que de la batería cuyo valor es de 12V.

$$Cabat \text{ en Ah} = Cabat \frac{Wh}{12V} \quad (Ec.10)$$

$$Cabat \text{ en Ah} = \frac{65.592Wh}{12V}$$

$$Cabat \text{ en Ah} = 5.46Ah$$

Por último, no es recomendable descargar la batería completamente por lo que debe se mantener al menos un 20% de la carga de esta por lo tanto la capacidad total de la batería necesaria es:

$$Cabat \text{ en Ah} = 5.46Ah * 1.20 \quad (Ec.11)$$

$$Cabat \text{ en Ah} = 7.36Ah$$

Para este proyecto se utilizó una batería Kobe 12N9-4B-1 de plomo-acido, la cual brinda un voltaje de operación de 12v y una capacidad de 9Ah, lo que asegurara que él sistema pueda funcionar sin problemas aun sin necesidad de energía solar por más de 96 horas, en la figura 28 se muestra la batería seleccionada.



Figura 35 Batería Kobe 12N9-4B-1 utilizada en el sistema fotovoltaico. Fuente: Autor

2.2.15 Selección del panel fotovoltaico

Para seleccionar la capacidad del panel solar se deben de tener en cuenta 2 factores, el primero el consumo de la estación sísmica en si cuyo valor ya se ha determinado por medio del censo de carga, pero además este debe de ser capaz de cargar la batería al mismo tiempo alimenta al resto del sistema por lo tanto la capacidad necesaria del panel solar se determina por la siguiente formula:

$$P_{sp} = P_{sis} + P_{bat} \quad (\text{Ec.12})$$

P_{sp} es capacidad del panel solar en W.

P_{sis} es el consumo del sistema W.

P_{bat} consumo del batería necesario para ser cargada en W.

En el proceso de cargado de la batería se recomienda que se proporcione a esta una corriente equivalente al 10 % de su capacidad durante un periodo de 10 horas para garantizar que esta se ha cargado en un 100% y evitando daños en las celdas de la batería, cabe destacar que el encargado de limitar esta corriente es el controlador de carga el cual se abordara en el próximo inciso, por lo que la batería seleccionada en este proyecto demandara una corriente de 0.9A. Teniendo en cuenta que su voltaje de operación es 12v, el consumo de la batería será de 10.8W.

Entonces la capacidad mínima del panel solar es:

$$P_{sp} = 0.683 + 10.8W = 11.483W$$

En este proyecto se utiliza un panel solar de la marca Sunshine solar el cual tiene una capacidad de 20W, en la tabla XIX se resumen sus principales características.

Tabla 13 Características de panel solar Sunshine solar. Fuente: (Sunshine solar S.F)

Característica	
Máxima potencia	20W
Tolerancia en la salida	±5%
Corriente pico máxima (Imp)	1.14A
Voltaje pico máximo (Vmp)	17.5V
Corriente en corto circuito (Isc)	1.28A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	22.05V

2.2.16 Controlador de carga

El controlador de carga solar se encarga de gestionar el flujo de corriente que circula entre las celdas fotovoltaicas, la batería de almacenamiento y el sistema, garantizando que durante las horas con suficiente energía solar, el panel solar alimente todos los circuitos y cargue la batería de respaldo, al momento de que la energía generada por el panel solar caiga por debajo de cierto umbral el controlador debe cambiar la alimentación desconectando el panel solar y poniendo a funcionar la batería evitando que el sistema se apague. El controlador de carga solar debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Tabla 14 Características con que debe contar el controlador de carga. Fuente: Autor.

Características Cel controlador de Carga a Seleccionar
Controlar una corriente de al menos 3A.
Censar nivel de carga de la batería
Indicar el estado del sistema fotovoltaico
Desconexión de carga baja.
Protección contra cortocircuito, inversión de polaridad y sobre voltaje.

El controlador de carga solar utilizado en este proyecto es el controlador Lumiax LATshine06 que se observa en la figura 36, sus principales características son las siguientes:

- Operar con sistemas fotovoltaicos de 12V y 24V con reconocimiento automático.
- Controlar una corriente de hasta 6A.
- Visualización del nivel de carga de la batería y notificación de estado y errores del sistema fotovoltaico, por medio de 5 leds integrados.
- Desconexión por carga baja y reconexión automática.
- Modo de carga de cuatro etapas: rápido, impulso, ecualización, flotación.
- Protección eléctrica, tanto para el panel solar, batería y carga.



Figura 36 controlador de carga Lumiax LATshine06

2.2.17 Selección de Case, para el prototipo

Las características del case para el prototipo debía cumplir que fuese impermeable principalmente, además de ser elegante y cómoda para que todo el sistema pudiese alcanzar. Se decidió seleccionar una caja epoxi con protección IP65, la cual es la única en el mercado nacional que contaba con la característica de ser impermeable. Es una caja elegante y muy cómoda en la cual alcanza perfectamente todo nuestro sistema. En la siguiente imagen se muestra imágenes del Case seleccionado para el sistema. Ver imagen 37.



Figura 37 Case donde se incorporará todo el sistema del dendrómetro digital

2.2.18 Diseño en circuito impreso final del sistema

En esta sección, se muestra el resultado final de la incorporación de todos los subsistemas anteriormente descritos. El dendrómetro digital primeramente debió pasar por las pruebas de laboratorio, para su posterior implementación en uno de los árboles de teca de la empresa MLR-Forestal.

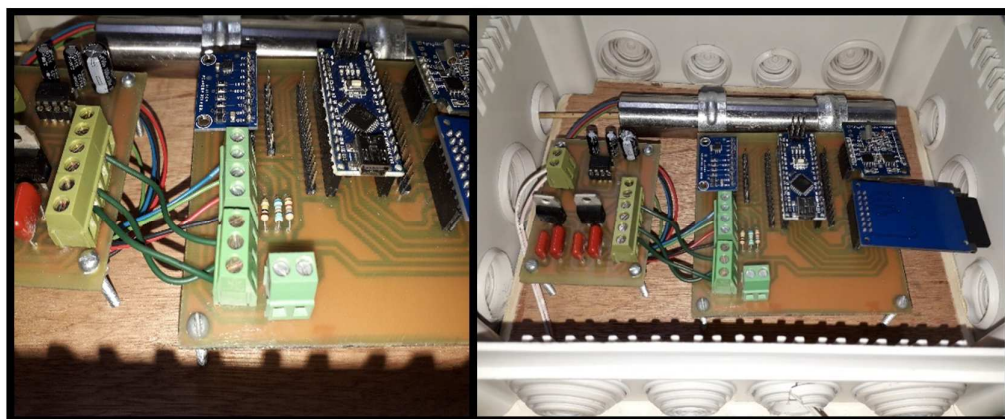


Figura 38 Prototipo Final. Fuente: Autor

2.3 Implementación del sistema Dendrómetro Digital

El sistema Desarrollo de un prototipo de un dendrómetro digital, para el monitoreo del crecimiento radial de un árbol de teca fue implementado en, la empresa MLR-Forestal, en el municipio de Siuna en la R.A.C.C.N. con los equipos descritos en las secciones anteriores. Para la implementación de este proyecto se llevó a cabo varios procesos: Diseño de tarjetas electrónicas, diseño de estructuras para el soporte de los paneles solares y cajas para las diferentes unidades, programación de la placa Arduino, instalación de los equipos en el sitio y pruebas. La empresa MLR-Forestal, asignó a un miembro del personal de Infraestructura, para que diera acompañamiento y ayuda en lo que se necesitara para la instalación. En la figura 39, 40 y 41 se demuestran el resultado de este proceso para las unidades.



Figura 39 inicio de instalación del prototipo, el cual se ubicó al lado de un árbol, para su respectivo monitoreo. Fuente: Autor



Figura 40 En la siguiente imagen se puede observar el apoyo brindado por parte de personal del área de infraestructura de la empresa, para la instalación. Fuente: Autor



Figura 41 En la siguiente imagen se aprecia el prototipo ya instalado, y listo para ejercer su función. Fuente: Auto.

2.4 Evaluación Funcional del sistema

Luego que el sistema fuese implementado y completamente funcional, se inició la evaluación de este mediante rúbricas de desempeño¹⁹, estas se realizaron de forma semanal en el lapso de un mes y en ellas se reflejaba primordialmente que el funcionamiento del sistema fuese el esperado.

Durante la primera semana de evaluación, la rúbrica reflejó que el funcionamiento del sistema era el deseado, Con el único inconveniente de que un trabajador informo que por la noche después de la instalación, se observaba una luz roja en el lugar en el dispositivo; Se procedió a revisar que era lo que pasaba y resulto que era problemas en el regulador de carga del módulo fotovoltaico y por tanto se procedió a corregir dicho error.

En la segunda semana de evaluación, se dio a conocer que el gerente de operaciones deseaba tener mayor información acerca de la lectura Guardada en la memoria SD-Card, esto con respecto a cuantas lecturas se realizaban por día. Se procedió a mostrarle los datos hasta entonces guardados, los cuales eran un dato almacenado por día y posteriormente se le dio una breve explicación del porque una sola lectura al día, con dicha explicación quedo claramente informado y dijo que el dispositivo trabajaba bien hasta entonces.

La tercera semana que se visitó la Empresa, no se dio a conocer inconveniente alguno por lo que solo se procedió a supervisar la caja con el sistema, para evitar alguna anomalía en la misma o en la PCB con los componentes.

Finalmente, en la cuarta semana de evaluación no se nos comunicó de algún inconveniente, por lo tanto, se concluye que el sistema está trabajando según lo esperado.

¹⁹ver anexo D.1, D.2 donde se muestra la tabla de rubricas de desempeño del sistema

2.5 Resultados obtenidos

- Tomando en cuenta los objetivos planteados, el resultado del presente proyecto fue un prototipo de un dendrómetro digital, que capta las micro variaciones del crecimiento radial de un árbol de teca y los almacena cada 24 horas en una memoria.
- Durante el periodo de pruebas el sistema fue expuesto a diferentes condiciones climáticas, lluvia sol polvo y su funcionamiento fue el esperado.
- El sistema ha demostrado trabajar con estabilidad al ser probado a lo largo del mes de noviembre y parte de diciembre.
- Como muestra tangible y visual de los resultados del prototipo, se proporcionó a los encargados de la empresa los datos guardados por el sistema a lo largo de los días de prueba, la cual es una hoja de Excel guardada en la memoria SD, donde se encuentran los datos diarios de crecimiento del árbol con su respectiva hora, día y fecha.
- Gracias al almacenamiento de los datos en la SD-Card no existe temor alguno de que los datos de crecimiento por día se pierdan, y así la empresa pueda hacer proyecciones con estos datos cada vez que la empresa lo desee.

CAPITULO III: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Conclusiones

Se puede concluir en que el sistema ha sido un éxito en base a que se cumplieron los objetivos planteados al comienzo de este trabajo monográfico, dando como resultado el desarrollo de un Prototipo digital de un Dendrómetro, para monitorear el crecimiento radial de un árbol de teca en la empresa MLR- Forestal. El sistema responde a los requerimientos planteados por la empresa, de forma que integra características y funcionalidades descritas a lo largo del documento.

A continuación, se presentan las conclusiones en base a los objetivos específicos planteados para lograr el objetivo general de este trabajo monográfico:

- Se logró concretar la etapa de diseño del sistema de medición, acondicionado las variables para que sean manipuladas e interpretados por el microcontrolador; además el diseño del sistema de almacenamiento de datos que permitió guardar la variable de interés como lo es el crecimiento radial del árbol en milímetros, día, hora y fecha de la medición.
- Se realizaron pruebas del prototipo en tabla de nodos para determinar su correcto funcionamiento, donde estas fueron exitosas en su mayoría, con inconvenientes que se solucionaron en el proceso. Seguidamente se desarrolló el prototipo en tarjetas PCB utilizando la técnica ampliamente usada como es el método de planchado y la introducción de la pista previamente planchada en ácido donde las pruebas que se realizaron fueron las esperadas.
- La integración del panel fotovoltaico para el suministro de energía para el prototipo, contribuyó de manera positiva con el medio

ambiente, además de generar energía limpia al equipo en su totalidad.

- El desarrollo de este trabajo monográfico permitió al autor del proyecto, la obtención de nuevos recursos de experiencia en el diseño e implementación de: sistemas de medición, sistemas fotovoltaicos autónomos, además de adquirir habilidades en la creación de tarjetas de circuito impresos y programación de tarjeta Arduino.
- La gerencia de la empresa, está conforme con los resultados obtenidos a través del prototipo de un dendrómetro digital, por lo cual concedió una carta, donde se hace constar que el autor realizó las pruebas pertinentes con resultados aceptables para la empresa MLR- Forestal.

3.2 Recomendaciones

En base al desarrollo de proyecto se hacen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda un mantenimiento regular para el sistema, de preferencia cada 6 meses, de manera que se garantice el correcto funcionamiento del sistema.
- Para la instalación o desinstalación del sistema, leer el manual de uso que se brindó por el autor de este proyecto.
- Incorporar al sistema la capacidad de conectarse a Internet para permitir que el usuario pueda visualizar las mediciones desde cualquier punto que se encuentre, agregándole un sistema de comunicación sencillo y confiable.
- Utilizar un sensor calibrado de fábrica para el sistema de medición, para poder obtener mediciones muchísimo más confiables.
- Seleccionar un sensor más económico y con características similares al utilizado, para reducir el presupuesto total del proyecto.
- Incorporar una fuente de alimentación más pequeña, como arreglos de baterías, debido a que el sistema en su totalidad consume poca corriente.
- Desarrollar un tipo de carcasa más resistente a condiciones exteriores tales como polvo, lluvia, y otros, que cumpla con los estándares internacionales.

BIBLIOGRAFIA

Drumea, A., Vasile, A., Comes, M. & Blejan, A. (2007). System on Chip Signal Conditioner for LVDT Sensors. Electronics Systemintegration Technology Conference, 2006. 1st. DOI: 10.1109/ESTC.2006.280070.

Fan, J., Jia, S., Lu, W., Wang, Z., Li, X. & Sheng, J. (2011). Application of LVDT sensor data acquisition system based on PCI-1716. Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2011 IEEE International Conference on. DOI: 10.1109/CSAE.2011.5952738.

Drumea, A., Svasta, P. & Blejan, M. (2010). Modelling and simulation of an inductive displacement sensor for mechatronic systems. Electronics Technology (ISSE), 2010 33rd International Spring Seminar on. DOI: 10.1109/ISSE.2010.5547312.

Wen-Tsai, S. & Yao-Chi, H. (2011). Designing an industrial real-time measurement and monitoring system based on embedded system and ZigBee. Department of Electrical Engineering, National Chin-Yi University of Technology. Recuperado de: <http://sci-hub.bz/10.1016/j.eswa.2010.09.126>

Roca, Guillen, S. (2015). Tratamiento Automático de Datos de una Red de Sensores de Uso Agrícola. (Tesis de grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Cartagena, Colombia.) Recuperado de: <http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/5264/tfg643.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Seixedo, Magalhães, L. (2016). Dendrómetro de baixo custo para a agricultura de precisão. Recuperado de: <http://repositorio.utad.pt/handle/10348/5848>

Solfranc Tecnologuas,SL. (S.F). Dendrometer. Recuperado de: http://www.solfranc.com/productos/wp-content/uploads/2014/11/dendrometro_monitorizacion_micro_variaciones_diametro_tronco_solfranc_es.pdf

Galindo, A., Rodriguez, Hernandez, P., Cruz, Perez, N. & Torrecillas, A. (2015). Programación del riego con sensores de diámetro del tronco. Conference: V Congreso Nacional – IV Congreso Iberoamericano de Riego y Drenaje., At Lima (Perú). Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/281861975_Programacion_del_riego_con_sensores_de_diametro_del_tronco

Orjuela, Alvarez, J. (2012). Desarrollo e implementación del diseño tecnológico para el proyecto de agricultura de precisión en un cultivo de tomate en Sutamarchán, Boyacá (Colombia). (Tesis de grado, Universidad Santo Tomas, Bogota, Colombia). Recuperado de:

<http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/3448/OrjuelaLorena2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pascotto, Jiménez, A. (2014). Implementación de un sistema de captación y monitorización, mediante instrumentación virtual, para la medida de distancia basado en el LVDT. (Tesis de grado, Universidad Técnica de Valencia). Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49810/TFG%20completo_14029192701491124957436343966299.pdf?sequence=3

Mexina, D., Gomez, R., & Winder, J. (2003). Manejo del riego del aguacate mediante el uso de dendrómetros. Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate) 2003. Recuperado de: http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p273.pdf

Freyre, C., Schapschuk, P. Bouzo, C. & Bouchet, E. (2007). Construcción de un dendrómetro y una estación meteorológica automática para el estudio del crecimiento de frutos. Revista Científica Agropecuaria. 11(2): 103-109. Recuperado de: <http://redbiblio.unne.edu.ar/opac/cgi-bin/pgopac.cgi?VDOC=6.225678>

Organización de las Naciones Unidas, para la agricultura y la alimentación. (2008). Manejo de plantaciones forestales. Recuperado de: <http://teca.fao.org/es/read/3692>

Sociedad española de productos Humicos, S.A, (2009). El cultivo de teca. Recuperado de: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/031---16.09.09---Cultivo-de-Teca.pdf

Aguirre, F., Gonzales, M. & Rodriguez, I. (2013). Desarrollo de un dendrómetro prototipo para su aplicación en Redes de Sensores Inalámbricos. (Tesis de grado, Universidad de la República de Uruguay). Recuperado de: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/handle/123456789/2841?mode=full>

Galtel. (11, septiembre, 2011). El dendrómetro como instrumento para evaluar el estado fenológico de la planta. [Entrada de blog]. Recuperado de: <https://galtel.wordpress.com/2011/09/05/en-dendrometro-como-instrumento-para-evaluar-el-estado-fenologico-de-la-planta/>

Facundo, E. (S.F). Dasometría. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/93769900/dendrometria>

Sephu. (16, septiembre, 2009). EL CULTIVO DE LA TECA PRODUCTOS SEPHU PARA CORRECCIÓN DE SUELOS, BIOESTIMULACIÓN DE CRECIMIENTO Y PROTECCIÓN CONTRA ENFERMEDADES DE HONGOS. Recuperado de:

https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/031---16.09.09---Cultivo-de-Teca.pdf

Analog Devices. (1995) Data sheet AE698. Recuperado de: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD698.pdf>

Technology S.A de C.V (S.F). DATA LOGGER (Registrador de datos). Recuperado de: http://www.jmi.com.mx/documento_literatura/DATALOGGER.pdf

Arrow Electronics (S.F). Los reloj en tiempo real (RTC) nunca duermen. Recuperado de: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/rtc-real-time-clocks-never-sleep>

La divisa del nuevo milenio. (2014). Dasometría Forestal. Recuperado de: <https://www.conocimientosweb.net/portal/article2606.html>

Magalhaes, L. (2007). Dendrómetro de baixo custo para agricultura de Presisao. (Maestria. Universidad de tras-os-monte e alto dourou.) Recuperado de: <https://dspace.utad.pt/handle/10348/5848>

Chaevits sensors. (2006). DC-ED accusens TM Series. Recuperado de: www.Chaevitz.com

Arevalo, A., (2016). Análisis adquisición y procesamiento de señales en sensores de equipos reológicos. (Trabajo de grado, Escuela de iingeniería electrónica, Bogota, Colombia). Recuperado de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5499>

Orellana, J., Tello, D (2011). Medicion de esfuerzos y deformaciones en barras metálicas utilizando galgas extensométricas. (Tesina de seminario, Escuela Puperior politécnica Litoral, Guayaquil, Ecuador). Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/129922/D-83440.pdf>

Texas Instruments, (1990). LT1054 Switched-Capacitor Voltage Converters With Regulators. (Datta sheet). Recuperado de: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lt1054.pdf>

Llamas, L. (2016). Ingenieria informática y diseño. (Entradas Analogicas de 16 Bits con Arduino y ADS1115). Recuperado de: <https://www.luisllamas.es/entrada-analogica-adc-de-16-bits-con-arduino-y-ads1115/>

Arévalo, Ajila, A. (2016). Análisis, Adquisición y procesamiento de señales en sensores de equipos reológicos. (Trabajo de graduación previo a la obtención de título de ingeniero electrónico, Cuenca-Ecuador). Recuperado de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5499/1/11839.pdf>

ANEXOS

A. CARTAS

Acuerdo

Al bachiller Kenny Jossel Medina Powell, estudiante de la universidad nacional de ingeniería UNI, con carnet 2013-62289, la empresa MLR-Forestal le presento una problemática, referente al monitoreo constante del crecimiento radial, que presentan los arboles de Teca que se cultivan en la empresa; debido a esto, el bachiller propuso "Desarrollo de un prototipo digital de un dendrómetro, para el monitoreo del crecimiento radial del tallo en un árbol de Teca, para la empresa MLR-Forestal", con lo cual tanto la empresa como el estudiante, obtendrán beneficios. La empresa concede el estudio y desarrollo del proyecto bajo los siguientes términos:

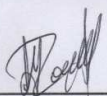
1. Se pueden realizar visitas de campo, a la empresa MLR-Forestal, con previo aviso a la gerencia y encargados del área de cultivo, para realizar cualquier tipo de medición, pruebas, consultas, entrevistas, etc. respetando los horarios establecidos y normas de seguridad de la empresa.
2. La empresa facilitara el material a utilizar, por lo cual se debe de entregar un presupuesto del en el cual se debe de justificar la utilidad de los materiales que se necesitarían para la realización del proyecto.
3. El estudiante deberá realizar un estudio total de la problemática y brindar diferentes propuestas a la empresa, demostrando ventajas y desventajas basadas en las deficiencias que se presentan actualmente. La empresa se encargará de elegir la propuesta que más le convenga
4. Se debe de entregar un prototipo probado y montado en uno de los árboles de Teca, así como un manual de uso del sistema.
5. No existirá una remuneración económica al estudiante ya que ambas partes saldrán beneficiadas.

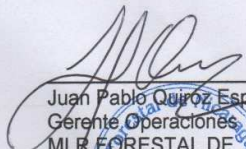
Regidos bajo los siguientes parámetros:

- El sistema deberá funcionar con una fuente de alimentación independiente.
- El sistema deberá de contar con una memoria portable que permita trasladar los valores almacenados de un lugar a otro.
- Se deberá guardar valores de crecimiento del árbol, cada 24 horas.
- se deberá registrar, la hora, día y mes de cada medición guardada.
- Los datos registrados en la memoria, deberán ser visualizados Microsoft Excel
- El sistema a desarrollar, no deberá de causar daños a la corteza del árbol.

El plazo para concluir este proyecto, será determinado por los estudiantes.

Firman conforme el acuerdo en la ciudad de Siuna (RACCN) a los 24 días del mes de marzo de 2018.


Kenny Jossel Medina Powell
Estudiante UNI
Carnet # 2013-62289


Juan Pablo Quiroz Espitia
Gerente Operaciones
MLR FORESTAL DE
NICARAGUA S.A.



A.1 Carta de cuerdo entre autor y empresa MLR-Forestal



MLR – Forestal, Sede Siuna

ENTREVISTA

Nombre: Francisco Javier Montiel

Firma: [Firma] Fecha: 4/ junio /2018

1. ¿Describe la problemática actual respecto a las mediciones del diámetro del árbol de teca? Las mediciones actualmente se hacen en rango

de una semana, porque es el tiempo que se puede visualizar un cambio de medida en los dendrometros disponibles. El problema es que muchas veces no se va a tomar las mediciones por lo largo que quedan las plantaciones y se pierde el monitoreo por tanto a la hora de hacer mediciones, se asumen datos.

2. ¿Son confiables las mediciones que se toman actualmente?

Si, son confiables, pero las mediciones son en el rango de tiempo muy largos y muchas veces se le escapa al trabajador.

3. ¿Cree usted que debería de mejorar el método de medición actual? ¿Por qué?

Claro que si, porque es necesario saber los datos diarios y cuando no los tenemos los asumimos, para evitar los llamados de atención de la gerencia.

4. ¿Cómo ve la idea del diseño de un dispositivo digital que se encargue de las mediciones?

Excelente, siempre y cuando no nos quite el trabajo y que este dispositivo nos sirva de apoyo para nuestro monitoreo diario.

[Firma]
Juan Pablo Quiroz Espitia
Gerente de operaciones MLR-Forestal





Siuna (RACCN), viernes 11 de enero de 2019

Asunto: Constancia de culminación de pruebas de campo con prototipo de "Dendrometro Digital" en la empresa MLR-Forestal.

A: Br. Kenny Jossel Medina Powell
Universidad Nacional de Ingeniería

Por medio de la presente, se hace constar que el **Br. Kenny Jossel Medina Powell** con número de carnet universitario 2013-62289 egresado de la carrera e ingeniería electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), ha realizado las pruebas pertinentes, referente a su trabajo monográfico. La empresa MLR-Forestal le dio la oportunidad de presentar y ejecutar una alternativa tecnológica referente a la tecnificación agrícola en el área de monitoreo de la empresa, respecto a las mediciones del crecimiento radial de un árbol de Teca.

Las pruebas del dispositivo desarrollado (Prototipo de un Dendrómetro digital), se efectuaron desde el día 12 de noviembre de 2018 hasta el día 18 de diciembre de 2018 brindando buenos resultados como se pretendía desde un inicio.

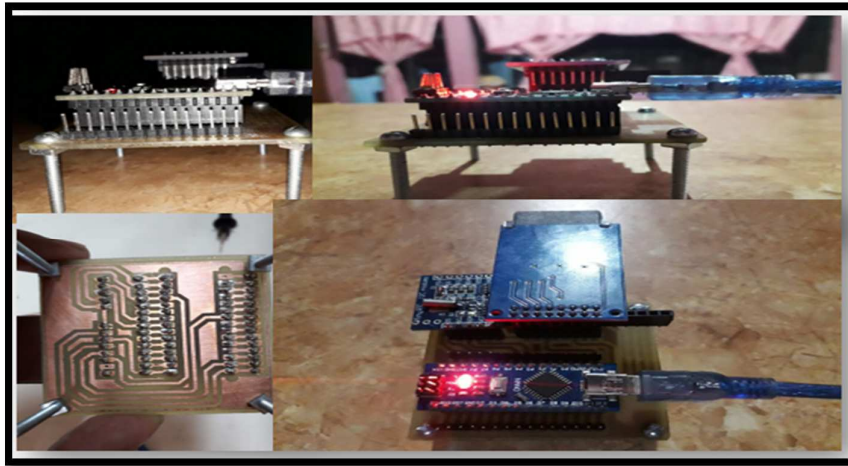
Los resultados obtenidos a través de dicho dispositivo digital, concuerdan con los brindados por el dispositivo que contamos actualmente en la empresa para tal monitoreo, por lo cual se catalogan confiables los resultados obtenidos a través del dispositivo digital desarrollado.



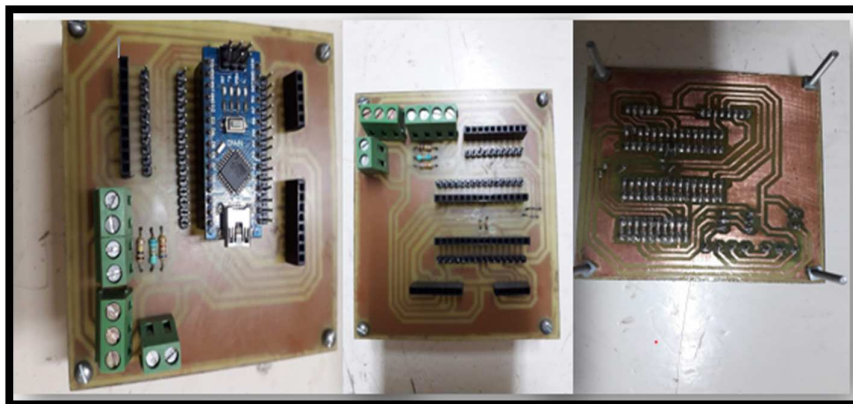
Juan Pablo Quiroz Espitia
Gerente de operaciones MLR-Forestal



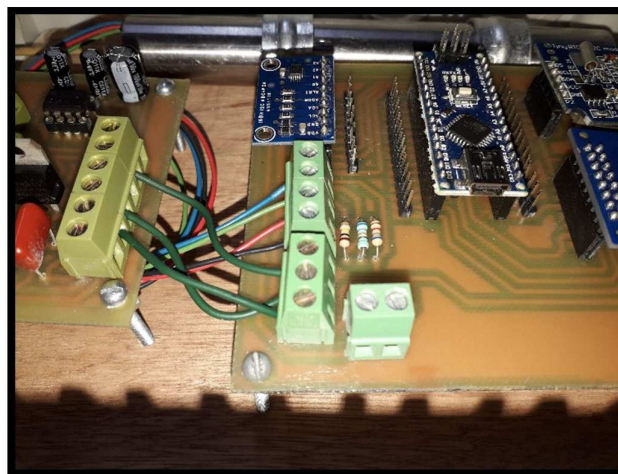
B. IMPLEMENTACIÓN EN CIRCUITOS IMPRESOS



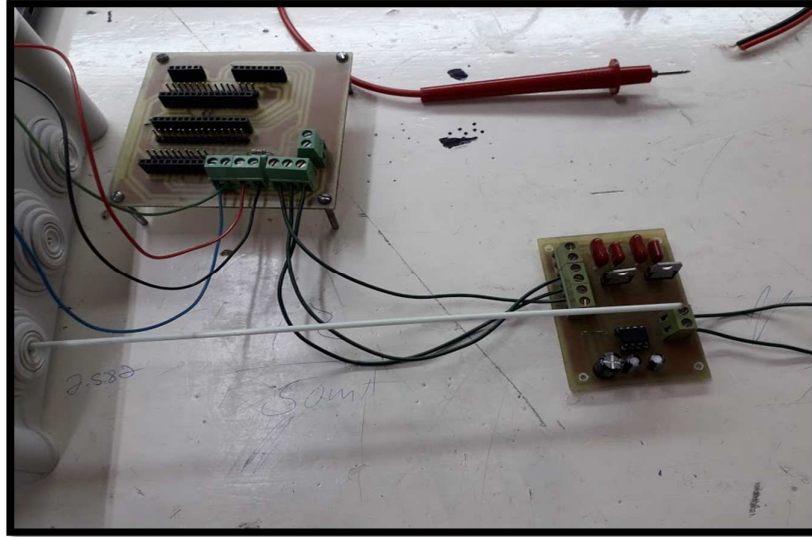
B.1 Versión primera de PCB del sistema



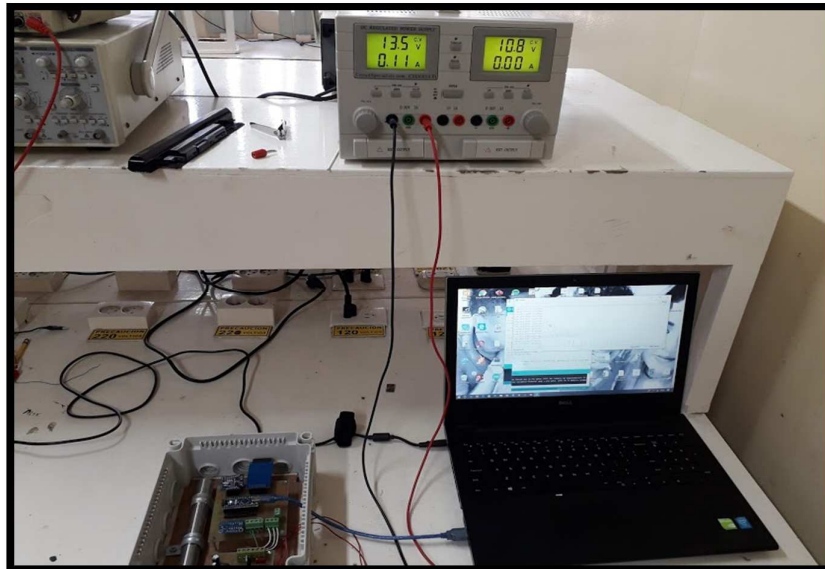
B.2 Versión final de PCB del sistema



B.3 Versión final del sistema, con fuente de alimentación, incorporada en el Case del prototipo



B.4 Pruebas de PCB fuente de alimentación del sistema



B.5 Consumo energético del sistema en Amper

C. IMPLEMENTACIÓN EN EMPRESAS MLR-FORESTAL



C.1 Instalación del dendrómetro de la empresa en un árbol de Teca



C.2 Dendrómetro instalado y con lectura inicializada.



C.3 Base sobre la cual se instaló el prototipo del dendrómetro digital



C.4 Prototipo instalado



C.5 Vista frontal del prototipo completo instalado



C.6 Elaboración de estructura para cubrir el sistema, incorporada en el panel fotovoltaico



C.7 finalización de instalación de prototipo



C.8 Primera visualización de lectura del dendrómetro propiedad de la empresa



C.9 Lectura final del dendrómetro propiedad de la empresa

D. Rubricas de desempeño de sistema

Criterios de desempeño	Valoración (1-5)					Observaciones
	1	2	3	4	5	
El sistema es sencillo de manipular					x	
El case del prototipo es adecuado para condiciones climáticas adversas					x	
El funcionamiento del sistema es el esperado				x		Problemas en la fuente de alimentación.
No existe sobrecalentamiento en cables de conexión del sistema					x	
El funcionamiento de la fuente de alimentación es el adecuado					x	El primer día de pruebas el sistema, presentaba problemas de conexión en la fuente de alimentación
El sistema guarda con normalidad en la memoria SD-Card		x				El sistema no guardaba al inicio de las pruebas. El sistema tenía desconfigurada la hora fecha y día de la medición

D.1 Semana 1 de pruebas

Criterios de desempeño	Valoración (1-5)					Observaciones
	1	2	3	4	5	
El sistema es sencillo de manipular					x	
El case del prototipo es adecuado para condiciones climáticas adversas					x	
El funcionamiento del sistema es el esperado					x	
No existe sobrecalentamiento en cables de conexión del sistema					x	
El funcionamiento de la fuente de alimentación es el adecuado					x	
El sistema guarda con normalidad en la memoria SD-Card					x	

D.2 Rúbrica de desempeño Semanas 2-5

E. Manual de uso, del Prototipo “*Dendrometro Digital*”

El dispositivo diseñado, es sumamente sencillo de utilizar, pues una vez instalado, no es necesario la manipulación por parte del usuario. Sin embargo, hay un proceso que se debe de seguir para su instalación:

- Primero debe de colocar una base cerca del árbol, de tal manera que esta quede a 5 Cm de distancia. La base debe estar fija de tal manera que permanezca totalmente estática.
- Seguidamente de proceder atornillar la caja del sistema en la base. Se debe ubicar a una altura de 1.3 metros del suelo, esta es la altura que utilizan los trabajadores para medir el crecimiento radial del árbol.
- Se procede a la instalación de la fuente de alimentación que consta del regulador de carga, la batería y el panel fotovoltaico como se ve en la figura 1.

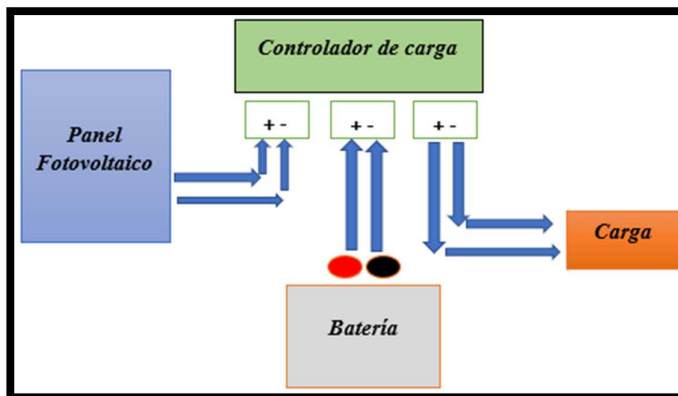


Figura 1 Diagrama de conexión fuente de alimentación

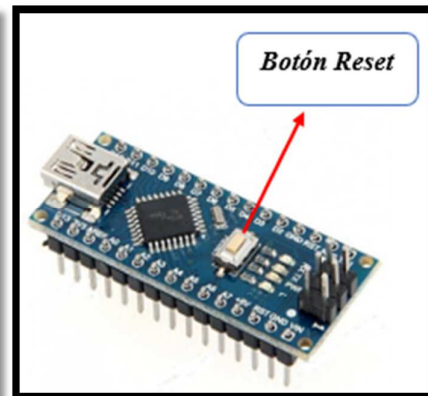


Figura 2 Botón Reset

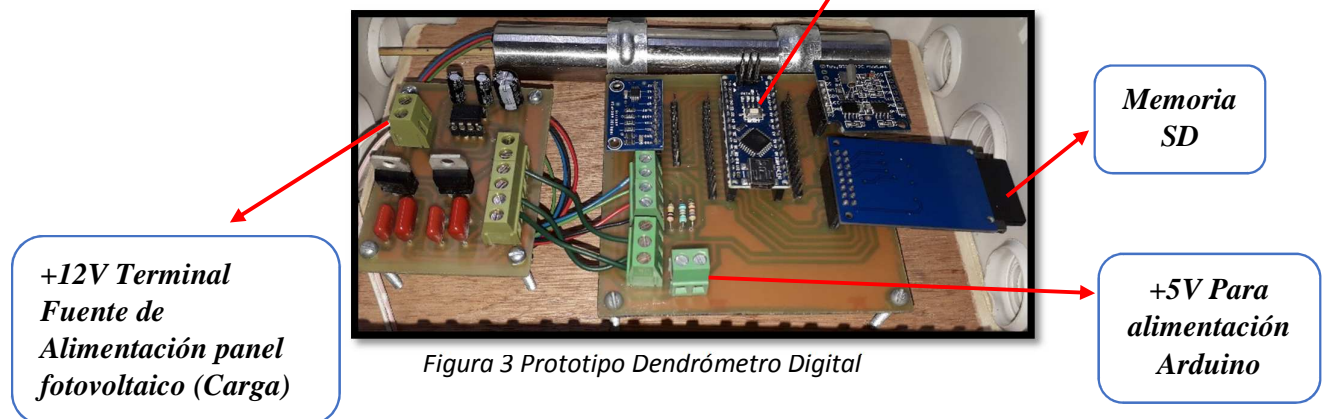


Figura 3 Prototipo Dendrómetro Digital

- Una vez instalados los componentes del sistema, este estaría listo para funcionar; sin embargo, se necesita presionar el botón de Reset del Arduino nano, como se ve en la Figura 2.
- A la hora de retirar a memoria SD ver figura 2 se necesita abrir con cuidado la caja del sistema, retirar la memoria cuidadosamente. Esto debe de realizarse con las manos totalmente secas, para evitar daños en el sistema.
- Si desea que el sistema continúe en funcionamiento, ingrese una nueva memoria SD y posteriormente presione nuevamente el botón Reset.

F.Codigo de programacion del sistema.

```
//se incluye las librerias a utilizar---//
#include <Wire.h>

#include "RTCLib.h"

#include <SD.h>

#include <SPI.h>

#include <Adafruit_ADS1015.h>

//-----//

// Iniciamos las funciones de ADC,RTC y declaramos variables. A la ves, se crea la carpeta
// donde se guardaran los datos en la SD-Card--//

Adafruit_ADS1115 ads; /* Use this for the 16-bit version */

RTC_DS1307 RTC;

float Voltage, Milivolts, Milimetros, Micrometros_2,A,B,C,D,E,desplazamiento;

int16_t adc0;

File dendrometer;

//-----//

//-----Configuraciones de Modulos a utilizar(SD Card, RTC, ADC )-----//

void setup ()

{

  Serial.begin(9600);

  ads.begin();

  delay(1000);

  ads.setGain(GAIN_ONE);    // 1x gain  +/- 4.096V  1 bit = 2mV    0.125mV

  // Comprobamos si tenemos el RTC conectado

  if (! RTC.begin())

  {

    Serial.println("No hay un módulo RTC");

    while (1);

    RTC.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

  }

}
```

```

Serial.print("Iniciando SD ...");

delay(1000);

if (!SD.begin(4))

{

    Serial.println("No se pudo inicializar");

    return;

}

Serial.println("inicializacion exitosa");

Serial.println("Dendrometro Digital // MLR-Forestal");

Serial.println("Crecimiento Radial del arbol en Milimetros");

//Se setea la medicion-----//

A = ads.readADC_SingleEnded(0);

B= (A * 0.125)/1000;

C=B*1000;

D=C/252;

E= 2.4*D;

delay(5000);

}

//-----//

//-----Funcion Principal-----//

void loop(){

    adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0);

    Voltage = (adc0 * 0.125)/1000;

    Milivolts=Voltage*1000;

    Milimetros=Milivolts/252;

    Micrometros_2= 2.4*Milimetros;

    desplazamiento=Micrometros_2-E;

    DateTime now = RTC.now();

    if(!SD.exists("kenny.csv"))

    {

        dendrometer = SD.open("kenny.csv", FILE_WRITE);
    }

```

```

if (dendrometer)
{
  Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabezado(fila 1)");
  dendrometer.println("Desplazamiento,FECHA,HORA");
  dendrometer.close();
}
else
{
  Serial.println("Error creando el archivo kenny.csv");
}
}

dendrometer = SD.open("kenny.csv", FILE_WRITE);
  if (dendrometer)
  {
    dendrometer.print(desplazamiento);
    dendrometer.print(",");
    dendrometer.print(now.day(), DEC); // Dia
    dendrometer.print("/");
    dendrometer.print(now.month(), DEC); // Mes
    dendrometer.print("/");
    dendrometer.print(now.year(), DEC); // Año
    dendrometer.print(",");
    dendrometer.print(now.hour(), DEC); // Horas
    dendrometer.print(":");
    dendrometer.print(now.minute(), DEC); // Minutos
    dendrometer.print(":");
    dendrometer.print(now.second(), DEC); // Segundos
    dendrometer.println("  ");
    dendrometer.close();
    delay(1000);
  }

```

```
Serial.print(desplazamiento);  
  
Serial.print(",");  
  
Serial.print(now.day(), DEC); // Dia  
  
Serial.print("/");  
  
Serial.print(now.month(), DEC); // Mes  
  
Serial.print("/");  
  
Serial.print(now.year(), DEC); // Año  
  
Serial.print(" ");  
  
Serial.print(now.hour(), DEC); // Horas  
  
Serial.print(":");  
  
Serial.print(now.minute(), DEC); // Minutos  
  
Serial.print(":");  
  
Serial.print(now.second(), DEC); // Segundos  
  
Serial.println(" ");  
  
}
```

G. Presupuesto del proyecto

“Desarrollo de un prototipo digital de un dendrómetro, para el monitoreo del crecimiento radial del tallo en un árbol de Teca, para la empresa MLR-Forestal.”

Cantidad	Componentes	Precio	Link de compra
1	Modulo RTC	\$10 (C\$ 322)	https://www.amazon.com/WING-ONEER-DS1307-AT24C32-Module-Arduino/dp/B01H6EBRDQ
1	Modulo SD-Card	\$15 (C\$ 483)	https://www.amazon.com/CHEN-BO-Storage-Expansion-Memory-Arduino/dp/B06Y581CWF/
1	Modulo GSM	\$20 (C\$ 644)	https://www.amazon.com/DealMux-Cartão-SIM800L-Conselho-Onboard/dp/B078LPBP8F/ref
1	Microcontrolador (Placa Arduino Nano)	\$25 (C\$ 805)	https://www.amazon.com/Arduino-Emakefun-board-ATmega328P-Micro-controller/dp/B0775XQXRB/ref
1	Strain Galge	\$8 (C\$ 257.6)	https://www.ebay.com/itm/Strain-gauge-Bending-detection-Test-Sensor-Module-Weigh-Amplifier-Voltage-Output
1	Sensor LVDT DC-1000	\$250 (C\$ 8,050)	https://www.ebay.com/itm/Schae-vitz-Engineering-LVDT-Type-1000-DC-Linear-Position-Sensor/192370680580
1	Panel fotovoltaico	\$60 (C\$ 1932)	https://www.ebay.com/itm/10W-semi-flexible-monocrystalline-silicon-solar-cell-photovoltaic-panels-18V
		Total \$ 388 (C\$ 12,493.6)	

H. Hoja de datos de LT1054

[Product Folder](#)[Sample & Buy](#)[Technical Documents](#)[Tools & Software](#)[Support & Community](#)

TEXAS
INSTRUMENTS

LT1054

SLVS033G – FEBRUARY 1990 – REVISED JULY 2015

LT1054 Switched-Capacitor Voltage Converters With Regulators

1 Features

- Output Current, 100 mA
- Low Loss, 1.1 V at 100 mA
- Operating Range, 3.5 V to 15 V
- Reference and Error Amplifier for Regulation
- External Shutdown
- External Oscillator Synchronization
- Devices Can Be Paralleled
- Pin-to-Pin Compatible With the LTC1044/7660

2 Applications

- Industrial Communications (RS232)
- Data Acquisition Supply
- Voltage Inverters
- Voltage Regulators
- Negative Voltage Doublers
- Positive Voltage Doublers

3 Description

The LT1054 device is a bipolar, switched-capacitor voltage converter with regulator. It provides higher output current and significantly lower voltage losses than previously available converters. An adaptive-switch drive scheme optimizes efficiency over a wide range of output currents.

Total voltage drop at 100-mA output current typically is 1.1 V. This applies to the full supply-voltage range of 3.5 V to 15 V. Quiescent current typically is 2.5 mA.

The LT1054 also provides regulation, a feature previously not available in switched-capacitor voltage converters. By adding an external resistive divider, a regulated output can be obtained. This output is regulated against changes in both input voltage and output current. The LT1054 can also shut down by grounding the feedback terminal. Supply current in shutdown typically is 100 μ A.

The internal oscillator of the LT1054 runs at a nominal frequency of 25 kHz. The oscillator terminal can be used to adjust the switching frequency or to externally synchronize the LT1054.

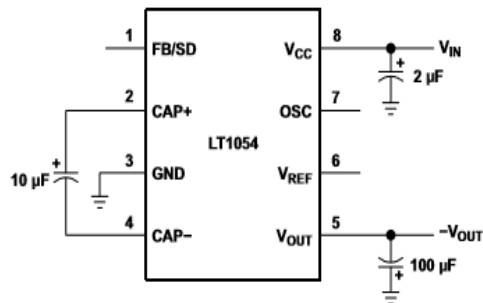
The LT1054C is characterized for operation over a free-air temperature range of 0°C to 70°C. The LT1054I is characterized for operation over a free-air temperature range of -40°C to 85°C.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LT1054	PDIP (8)	9.50 mm \times 6.35 mm
	SOIC (16)	10.30 mm \times 10.30 mm

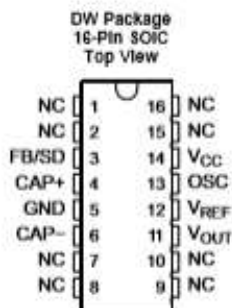
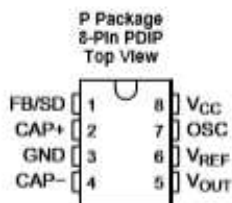
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Basic Voltage Inverter



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

5 Pin Configuration and Functions



NC – No internal connection

Pin Functions

PIN			I/O	DESCRIPTION
NAME	PDIP	SOIC		
FB/SD	1	3	Input	Shutdown for low I _q operation or error amp input for regulation
CAP+	2	4	Input	Positive side of C _{IN}
GND	3	5	—	Ground
CAP-	4	6	Input	Negative side of C _{IN}
V _{OUT}	5	11	Output	Regulated output voltage
V _{REF}	6	12	Output	Internal Reference Voltage
OSC	7	13	Input	Oscillator control pin
V _{CC}	8	14	—	Supply pin
NC	—	1, 2, 7, 8, 9, 10, 15, 16	—	No connect (no internal connection)

I. Hoja de datos de Sensor LVDT

DC-EC AccuSens™ Series

General Purpose LVDT

The DC-EC AccuSens™ Series incorporates a unique monolithic chip combined with a computer-designed AC LVDT to achieve premium performance.

The ratiometric design of the monolithic circuitry compensates for power supply deviations for continuously stable operation.

Unaffected by input variations, the transducer provides highly accurate, repeatable measurement.

Innovative manufacturing techniques further enhance the AccuSens operation and cost efficiency. Micro-miniature components used in the construction of each unit are selected for maximum stability.

Vacuum encapsulation of all elements produces an assembly tolerant to shock, vibration and other forms of physical abuse. Double magnetic shielding protects against stray electrical fields.

Features

- ☐ *Linearity 0.25% of FS or better*
- ☐ *CE certified*
- ☐ *Integrated signal conditioning*
- ☐ *Rugged stainless steel construction*
- ☐ *Calibration certificates supplied with all models*

Applications

- ☐ *General*

Options

- ☐ *Metric thread core*
- ☐ *Captive core option for convenient installation*
- ☐ *Guided core*
- ☐ *Small diameter, low mass core*



Specifications

Input Voltage	±15 VDC (nominal), ±25 mA
Operating Temperature Range	32°F to 160°F (0°C to 70°C)
Survival Temperature Range	-65°F to 200°F (-55°C to 95°C)
Null Voltage	0 VDC
Ripple	Less than 25 mV rms
Linearity	0.25% full range
Stability	0.125% full scale
Temperature—Coefficient of Scale Factor	0.04%/°F (0.08%/°C)
Shock Survival	250 g for 11 milliseconds
Vibration Tolerance	10 g up to 2 kHz
Coil Form Material	High density, glass-filled polymer
Housing Material	AISI 400 series stainless steel
Cable	4 conductor, 28 AWG, stranded copper with braided shield and polyurethane jacket, 1 meter
EMC	CE certified (The DC-EC series, when correctly installed, comply with the EMC Directive 89/336/EEC generic standards for residential commercial, light industrial and industrial environments.)
Output Impedance	Less than 1 ohm

Performance and Electrical Specifications¹

DC-EC Series Model Number	Nominal Linear Range		Scale Factor		Response
	inches	mm	V/inch	V/mm	-3 dB Hz
050 DC-EC	±0.050	±1.25	200.0	8.00	500
125 DC-EC	±0.125	±3.0	80.0	3.20	500
250 DC-EC	±0.250	±6.0	40.0	1.60	500
500 DC-EC	±0.500	±12.5	20.0	0.80	200
1000 DC-EC	±1.000	±25	10.0	0.40	200
2000 DC-EC	±2.000	±50	5.0	0.20	200
3000 DC-EC	±3.000	±75	3.3	0.13	200
5000 DC-EC	±5.000	±125	2.0	0.08	200
10000 DC-EC	±10.00	±250	1.0	0.04	200

¹All calibration is performed at room ambient temperature.

Internet: www.schaevitz.com North America Tel: 800/745-8008
Document Fax Back: 916/431-6541 Europe Tel: (01753) 537622

DC-EC models, when correctly installed, are CE certified to comply with the EMC Directive 89/336/EEC.



DC-EC Series LVDT Monolithic chip circuitry DC-Operated

How to Order

Specify the DC-EC Model followed by the desired option number(s) added together.

Ordering Example:

Model Number 050 DC-EC-200 is an DC-EC Series LVDT with a $\pm 0.050"$ range (050 DC-EC), with the captive core option (200).

DC-EC Model Options

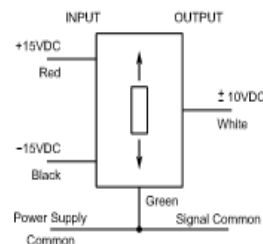
DC-EC Model	Options
050 DC-EC	Number Description
125 DC-EC	006 Metric Thread Core
250 DC-EC	010 Guided Core
500 DC-EC	020 Small Diameter, Low Mass Core ¹
1000 DC-EC	200 Captive Core ²
2000 DC-EC	¹ Consult factory for mass, dimensions and thread size.
3000 DC-EC	² Available on 050 DC-EC through 3000 DC-EC models only.
5000 DC-EC	
10000 DC-EC	

New Captive Core Option!

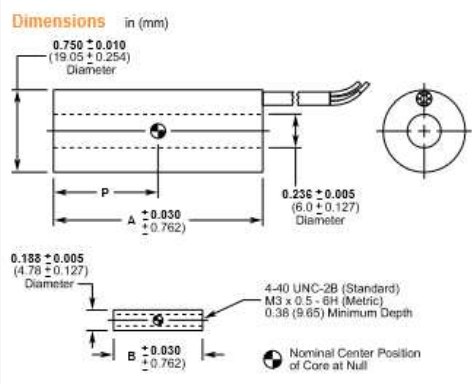
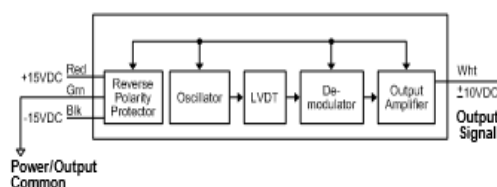
The DC-EC features a captive core design that greatly simplifies installation. The design utilizes a core rod and bearing assembly that is captured and guided within the LVDT providing low friction travel throughout the stroke length. The assembly incorporates two Delrin bearings on the core rod traveling through the stainless steel boreliner. A bronze bearing on the front end utilizes a self-aligning feature to accommodate lateral LVDT movement during operation. The core rod and bearing assembly are field replaceable. See page 71 for specifications.



Wiring



Block Diagram



Mechanical Specifications

DC-EC Series Model Number	Body		Core		A (Body)		Dimensions B (Core)		P	
	oz	gm	oz	gm	in	mm	in	mm	in	mm
050 DC-EC	2.19	62	0.07	2	2.10	53.5	0.75	19.1	0.50	12.7
125 DC-EC	2.44	69	0.11	3	2.93	74.5	1.25	31.8	0.93	23.6
250 DC-EC	2.58	73	0.18	5	3.80	96.5	2.00	50.8	1.35	34.3
500 DC-EC	2.93	82	0.28	8	5.49	139.5	3.00	76.0	2.20	55.9
1000 DC-EC	4.24	120	0.35	10	7.75	196.9	3.80	96.5	3.18	80.8
2000 DC-EC	5.47	155	0.46	13	11.12	282.5	5.30	135.0	4.88	124.6
3000 DC-EC	9.39	266	0.49	14	16.32	414.5	6.20	157.5	7.55	191.8
5000 DC-EC	11.47	325	0.60	17	20.15	511.8	6.20	157.5	9.53	242.0
10000 DC-EC	15.71	445	0.85	24	35.38	898.5	12.00	305.0	16.58	421.1

**CHAEVITZ
SENSORS**